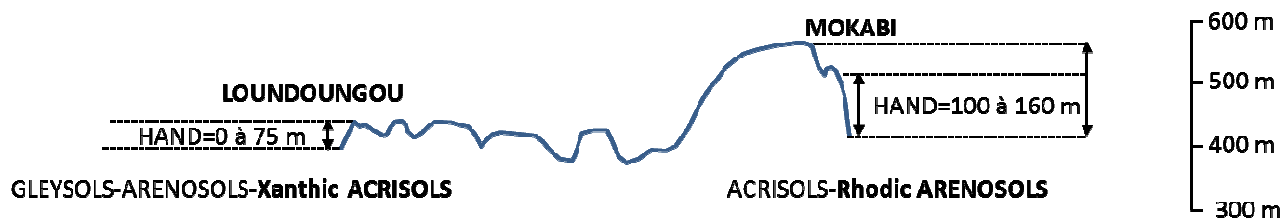
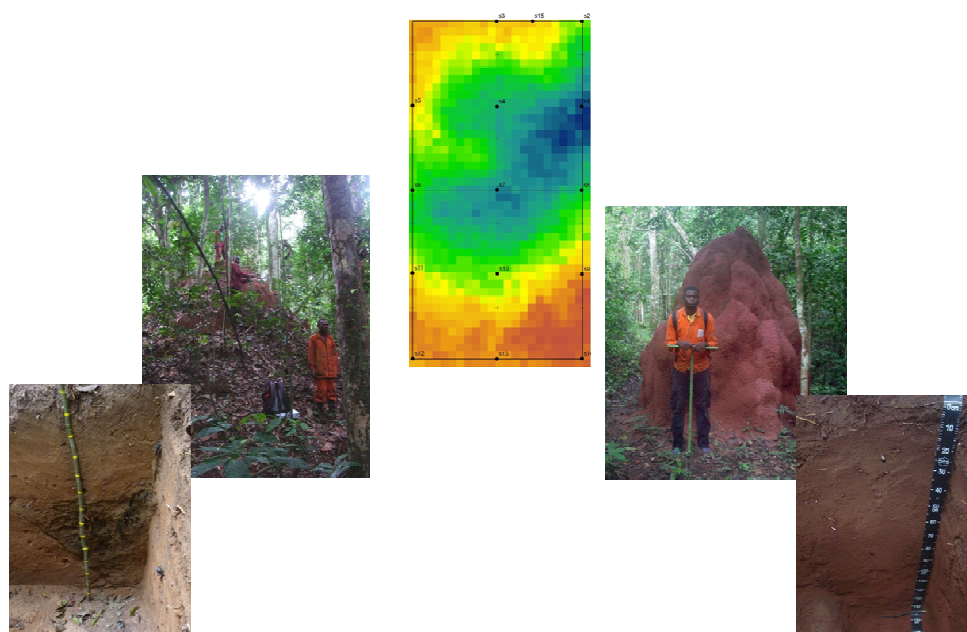


Caractérisation des sols de Loundoungou et de Mokabi (Congo) Rapport de mission DynAfFor, 2 au 24 avril 2014



RESUME

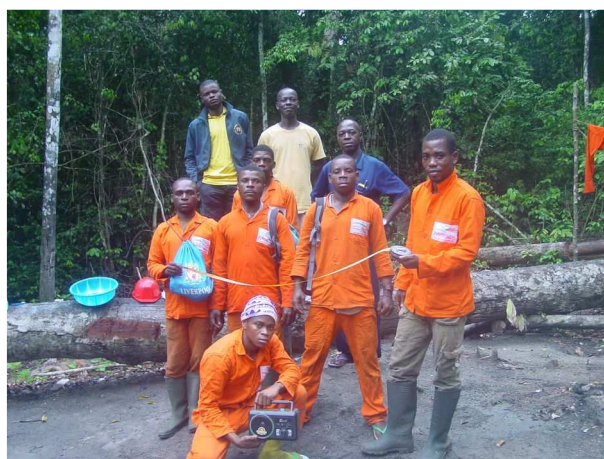
L'objectif de cette étude était de caractériser les sols des dispositifs de Loundoungou et de Mokabi, deux dispositifs de 800 ha de la République du Congo, dans le cadre du projet DynAfFor, en partenariat avec les sociétés forestières CIB-Olam et Mokabi SA. Nous avons effectué 33 sondages tarière pour estimer la variabilité spatiale des sols et décrit 3 profils de sol représentatifs de ces deux sites. Nous avons prélevé des échantillons de sols en vue d'analyses physico-chimiques qui permettront de valider les observations de terrain et de classer les sols dans le système international WRB. Les sols majoritaires de Loundoungou sont a priori des Xanthic Acrisols, des sols argilo-sableux à sablo-argileux et « rouge-jaune » (5YR), tandis que les sols majoritaires de Mokabi sont des Rhodic Arenosols et des Rhodic Acrisols, des sols sableux à argilo-sableux et rouges (2.5YR). Dans ces deux dispositifs, nous avons observé une variation de la texture des sols en fonction de la topographie et de l'altitude, même à Mokabi où les pentes sont très faibles, ce qui suggère la présence d'un axe de drainage souterrain. La gamme de variabilité des sols de Loundoungou (Acrisol-Arenosol-Gleysol), plus étendue que celle des sols de Mokabi (Acrisol-Arenosol), est à relier avec la présence de cours d'eau ou de bas-fonds proches du dispositif. Les deux dispositifs sont très marqués par la présence de termitières épigées du genre *Macrotermes*. Même si ces termitières sont différentes par leur taille, espèce et activité, elles influencent localement les propriétés des sols et créent des micro-habitats qui pourraient occuper jusqu'à respectivement 15% et 8 % de la superficie de Loundoungou et de Mokabi. Ces deux dispositifs pourraient alors être des terrains d'étude privilégiés pour tester la théorie de la niche, une des théories qui est avancée pour expliquer la grande diversité floristique de la forêt tropicale humide. Enfin, nos observations suggèrent que, dans le passé, le dispositif de Loundoungou a dû subir des perturbations (feux et peut-être des changements de végétation), au contraire de celui de Mokabi.

CONTEXTE, OBJECTIF

L'un des objectifs du projet DynAfFor¹ est de quantifier l'effet de l'environnement sur la dynamique forestière et le stockage de carbone. Ce projet repose sur deux types de dispositifs permanents (i) des sentiers de suivi de 42 espèces d'intérêt prioritaire pour les entreprises forestières (ii) et des dispositifs complets. Dans le cadre de ce projet, deux dispositifs complets sont en cours d'installation sur deux sites de 800 ha en République du Congo (Loundoungou, Mokabi) (Gillet et al. 2014). Ils viendront renforcer les deux dispositifs déjà existants sur deux autres sites en RCA (Mbaïki) et en RDC (Yoko) (Fig. 1).

Lors d'une mission effectuée en République du Congo du 2 au 23 avril 2014, nous avons apporté un appui en pédologie au projet DynAfFor pour principalement caractériser les sols des deux dispositifs de Loundoungou (**Chapitre 1**) et de Mokabi (**Chapitre 2**). Ce travail nous a ensuite permis, d'une part, de comparer les sols de ces deux sites (**Chapitre 3**) et, d'autre part, de prendre conscience de l'importance des termitières sur les sols et la forêt, un sujet que nous discuterons dans le **chapitre 4**. L'objectif de cette note est de restituer une synthèse de cet appui.

Nous remercions Eric Forni (Cirad Brazzaville, UR Bsef), et les sociétés forestières CIB-Olam et Mokabi SA (groupe Rougier) pour l'organisation logistique de cette mission qui a permis d'effectuer le terrain dans de très bonnes conditions. Un remerciement spécial à Mercier Mayinga et à Elodie Alberny. Nous remercions les deux équipes de terrain des sociétés CIB-Olam et Mokabi SA pour les moments partagés ensemble. Une mention spéciale à ceux qui ont travaillé avec moi sur le terrain au quotidien : Izaac Dikele Zombe, Freddy Bokangue, Ati Ngouabi et Ndeti Hilaire à Loundoungou ; Mathurin Mazengue et Kombe Rodin à Mokabi. Merci à Nicolas Fauvet (Cirad, UR Bsef) pour son appui cartographique sous ArcGis. Enfin, merci à Sylvie Gourlet-Fleury, co-pilote du projet DynAfFor, qui, par la découverte de ces deux nouveaux sites, m'a permis d'élargir ma connaissance des sols tropicaux et des termites !



¹ Structure et dynamique des forêts d'Afrique centrale : vers des règles d'exploitation du bois intégrant le fonctionnement écologique des populations d'arbres et la variabilité des conditions environnementales

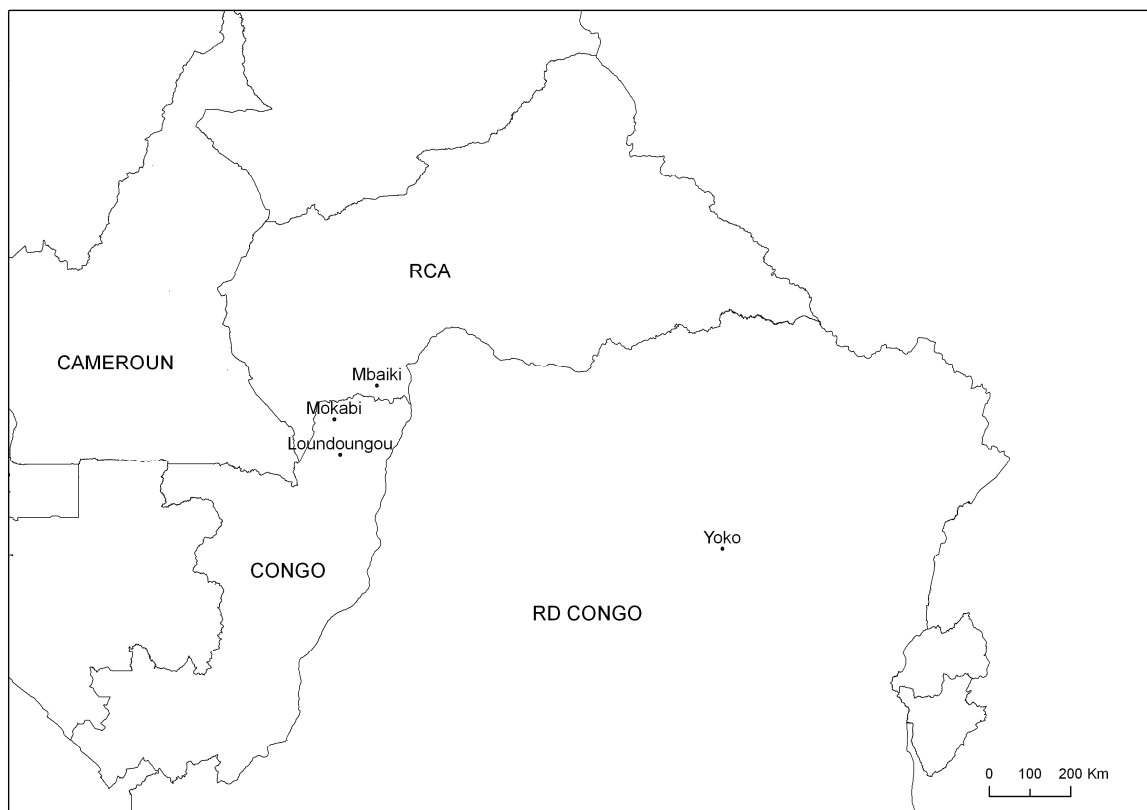


Figure 1 : Localisation de 4 dispositifs complets en Afrique centrale d'études de la dynamique forestière

Chapitre 1 : CARACTERISATION DES SOLS DE LOUNDOUNGOU

MATERIEL & METHODES

Sites d'étude

Le dispositif de 800 ha de Loundoungou se trouve au nord de la République du Congo, dans l'Unité Forestière d'Aménagement (UFA) Loundoungou-Toukoulaka de la société forestière CIB/Olam. Ce dispositif est plus précisément situé dans l'Unité Forestière de Production UFP 2.

Ce dispositif se trouve sur des alluvions de la cuvette congolaise (Fig. 2) et sur une unité géomorphologique qui correspond à un piedmont, zone intermédiaire entre un plateau et la cuvette congolaise (Boulvert et al. 1996) (Fig. 3). L'altitude moyenne est de 430 m (Fig. 4). Selon la classification de Köppen, le dispositif est soumis au climat de type Am. En tenant compte des précipitations relevées entre 2000 et 2008 à Ouessou, Impfondo et Mbaïki, nous avons estimé que les précipitations annuelles moyennes sont autour de 1670 mm. D'après la carte mondiale des sols (Verelst 2009), ce site est occupé majoritairement (50%) par des Xanthic Ferralsols (Fig. 5). On peut aussi trouver des Humic Gleysols (20%), des Dystric Gleysols (20%) et des Dystric Histosols (10%).

Ce dispositif de 800 ha est subdivisé en deux blocs carrés et contigus de 400 ha (2 km x 2 km), selon une direction ouest-est (bloc 1 à l'ouest et bloc 2 à l'est) (Fig. 6, Fig. 7). Ces deux blocs n'ont pas encore été exploités. Un de ces deux blocs sera exploité entre 2015 et 2020, tandis que l'autre ne le sera pas et représentera le témoin.

Parmi les 42 espèces qui sont actuellement inventoriées dans les sentiers de ce dispositif, les espèces majoritaires sont l'Otunga (*Polyathica suaveolens*) et le Niové (*Staudtia kamerunensis* var. *gabonensis*). D'autres espèces telles le Limbali (*Gilbertiodendron dewevrei*) sont fréquentes.

En parcourant ce dispositif, nous avons souvent noté la présence au sol de termitières géantes, en général d'au moins 5 m de haut et de 10 m de diamètre (Fig. 8a).

Variation spatiale des sols à l'échelle du dispositif

Pour avoir un aperçu de la variabilité verticale et de l'organisation spatiale des sols à l'échelle du dispositif, nous avons réalisé 18 sondages tarière jusqu'à 1,20 m de profondeur (Fig. 7). La plupart de ces 18 sondages ont été régulièrement répartis sur l'ensemble du dispositif. Quatre sondages (s12 à s15) ont été réalisés au sein des deux parcelles de 9 ha du bloc n°1. Une description de ces 18 sondages tarière, principalement en surface [0-10 cm], à mi-profondeur [60 cm] et en profondeur [110 cm], nous a permis de distinguer trois groupes de sols et de définir deux profils de sol de référence représentatifs du dispositif.

Variation spatiale des sols à l'échelle locale, liée à la présence de termitières

Pour avoir un aperçu de l'influence des termitières géantes sur les sols, nous avons comparé, pour 4 termitières géantes de hauteur comprise entre 4,6 m et 7,9 m, des échantillons de sol de surface [0-20 cm] qui se trouvent respectivement dans l'aire d'influence de la termitière (= pente) et en-dehors de son aire d'influence (= absence de pente) (Fig. 9). Au total, nous avons prélevé 8 échantillons de sol (4 termitières x 2 modalités). En pratique, chacun de ces 8 échantillons était composite et provenaient d'un mélange d'échantillons prélevés dans les 4 directions (nord, ouest, sud, est) (Fig. 9). Pour ces 8 échantillons, nous avons estimé leur texture et leur couleur Munsell. Ils seront analysés par le laboratoire du Cirad (Montpellier) pour estimer leur granulométrie.

Profil de sol de référence

Deux fosses ont été ouvertes jusqu'à une profondeur respectivement de 1,20 m et de 1,40 m, ce qui nous a permis de décrire deux profils de sol de référence. Pour chaque profil, nous avons prélevé des échantillons représentatifs de ses horizons. Au total, nous avons prélevé 11 échantillons, en vue d'analyses physico-chimiques qui seront réalisées par le laboratoire du Cirad à Montpellier (Annexe 7). La description de ces profils sur le terrain et les résultats des analyses permettront de rattacher ces profils à la classification internationale des sols (IUSS Working Group WRB 2006). Nous avons aussi prélevé avec un cylindre de 250 cm³ six échantillons de sol afin de mesurer leur densité apparente (Annexe 7).

Histoire des forêts

Pour tester si la forêt du dispositif de Mokabi a été perturbée dans le passé, nous avons tout d'abord recherché des charbons de bois lors de la prospection des 18 sondages tarière et lors de l'ouverture et la description des deux fosses. Certains des charbons que nous avons trouvés seront datés au ¹⁴C au laboratoire de Poznan (Pologne) ou envoyés à J. Morin (thésarde de l'Université de Gembloux) en vue d'une étude d'anthracologie (Annexe 8).

Nous avons aussi prélevé sur chacun des deux profils de sol de référence des échantillons de sol jusqu'à 115 ou 135 cm, à des profondeurs régulières : 0-5 cm, 10-15 cm, 20-25 cm, ..., 110-115 cm, 120-125 cm et 130-135 cm. Ces échantillons de sols seront envoyés à la plateforme isotopique de l'INRA Champenoux, afin de mesurer la composition isotopique du carbone à ces différentes profondeurs. Ces mesures permettront de détecter un éventuel remplacement de la forêt par des savanes dans le passé, jusqu'à environ 3000 années BP.

RESULTATS

Un interfluve émoissé aux pentes convexes, entaillé par deux dépressions

Le dispositif de Loundougou est situé sur un interfluve « émoissé » dont les altitudes maximales d'environ 470 m se situent au nord du dispositif. Cet interfluve est entaillé au sud-ouest et à l'est du dispositif par deux dépressions d'altitudes d'environ 395 m (Fig. 7). Ces dépressions correspondent sur le terrain à respectivement une tête de thalweg et à un bas-fond a priori inondé lors de la saison des pluies. Sur le sommet de cet interfluve, les pentes sont quasi-nulles, tandis que sur ses versants elles sont convexes : faibles en haut de versant (5%), elles augmentent un peu à mi-versant (10%), pour atteindre parfois des valeurs élevées en bas de versant (45%). La transition entre un bas de versant et une dépression aux pentes faibles peut alors être très brusque. Notons qu'une coupe topographique issue d'une l'image SRTM à 90 m de résolution restitue mal ces pentes convexes (Fig. 10).

Un dispositif avec des termitières géantes

En parcourant ce dispositif, on est frappé par la présence de termitières géantes qui peuvent faire facilement 5 m de haut et 10-12 m de large (Fig. 8a). Même si certaines d'entre elles ont une forme émoissée, ces termitières marquent le paysage puisque l'équipe de terrain de la CIB/Olam les nomme « montagnes ». Leur distribution spatiale observée sur le périmètre du dispositif n'est pas homogène (Fig. 11). D'après nos notes de terrain, ces termitières semblent plus denses dans les zones ouvertes qui correspondent à des chablis. L'examen de quelques termitières semble montrer qu'elles sont abandonnées. En général, un ou plusieurs arbres poussent sur ces termitières géantes.

Des sols présentant un gradient de couleur et de texture

La description des 18 sondages tarière (Fig. 12, Annexe 2) nous a conduit à distinguer sur le dispositif de Loundougou trois groupes de sol en fonction d'un gradient de couleur (Fig. 13).

Le 1^{er} groupe contient la quasi-majorité des sondages (16 sur 18). Tous les sols de ce groupe ont les caractéristiques communes suivantes : couleur brune (7.5YR) à la surface et évoluant progressivement au rouge-jaune (5YR), voire parfois au rouge (2.5YR) à 120 cm de profondeur, absence de taches et d'éléments grossiers, et augmentation de la teneur en argile avec la profondeur. Dans ce 1^{er} groupe, on peut distinguer trois sous-groupes en fonction d'un gradient de texture allant d'argilo-sableux (s4, s5, s6, s10, s11, s13, s14, s15, s16) à sablo-argileux (s2, s3, s7, s12) puis à sableux (s8, s9, s18). Le 2^{ème} groupe de sol, observé sur un seul sondage (s17) est sableux et brun-jaune (10YR), tandis que le 3^{ème} groupe, aussi observé sur un seul sondage (s1), est sableux et gris (2.5Y).

Vu que le 1^{er} groupe contient la majorité des sondages, il est a priori représentatif des sols du dispositif de Loundougou. Pour tenir compte du gradient de texture des sols qui appartiennent à ce 1^{er} groupe, nous nous sommes placés à ses deux extrêmes pour définir les deux profils de référence du dispositif : Loundougou-1 (proche du sondage s14), représentatif des sols argilo-sableux et Loundougou-2 (proche du sondage s18), représentatif des sols sableux.

Des sols distribués suivant l'altitude

Lorsque l'on croise pour chaque sondage tanière son appartenance à un groupe de sol (Fig. 13) avec son altitude estimée par une image SRTM à 90 m de résolution (Annexe 6), on observe une très bonne relation entre les groupes de sol et l'altitude (Fig. 14) : les sols du 1^{er} groupe se trouvent aux altitudes les plus élevées (en moyenne 447 m), celui du 2^{ème} groupe à une altitude intermédiaire (417 m) et celui du 3^{ème} groupe à l'altitude la plus basse (396 m). Au sein du 1^{er} groupe, les 3 sous-groupes se différencient aussi en fonction de l'altitude : les sols argilo-sableux, sablo-argileux et sableux se trouvent respectivement en moyenne à 454 m, 444 m et 427 m d'altitude (Fig. 14).

Deux profils de sol de référence à rattacher probablement à des Acrisols

Les deux profils de sol de référence du dispositif de Loundougou (Fig. 15, Fig. 16) sont décrits précisément dans les Annexes 3 et 4. Ils ont les caractéristiques communes suivantes : ils présentent une augmentation de la teneur en argile dans l'horizon subsuperficiel. La couleur est brune ou brun fort/sombre (7.5YR) en surface [0-15 cm] et rouge-jaune (5YR) à 140 cm de profondeur. Nous avons observé quelques taches (brunes ou rouges) qui sont certainement liées à l'activité de termites, dont la présence a été observée indirectement (nids). Enfin, nous n'avons pas trouvé d'éléments grossiers, mais trouvé des charbons de bois. Ces deux profils se distinguent par leur texture moyenne, argilo-sableuse pour Loundougou-1 et sableuse pour Loundougou-2. Ils se distinguent aussi par la couleur de leur horizon de surface [0-15 cm] : brun (7.5YR4/4) pour Loundougou-1 et brun sombre (7.5YR3/3) pour Loundougou-2. Ils se distinguent enfin par la quantité de charbons trouvés : elle est faible à Loundougou-1 alors qu'elle est forte à Loundougou-2, où nous avons trouvé une poche de charbons de bois comprise entre 60 et 120 cm de profondeur (Fig. 16). Ces observations nous conduisent à rattacher ces deux profils à des Acrisols, à cause de la présence probable d'un horizon d'accumulation d'argile (à valider par les analyses granulométriques). De plus, Loundougou-2 devrait aussi satisfaire à la propriété Arenic, à cause de sa forte teneur en sable.

Influence locale des termitières sur les caractéristiques du sol de surface

Nous avons trouvé que, pour les 4 termitières géantes étudiées, le sol de surface [0-20 cm] à l'intérieur de l'aire d'influence d'une termitière est en général plus argileux et plus rouge que le sol de surface voisin à l'extérieur de l'aire d'influence de la termitière (Tab. 1, Fig. 17).

Des sols avec charbons de bois

Nous avons trouvé des charbons de bois dans les sols du dispositif de Loundoungou, à la fois lors de la prospection tarière (dans deux sondages - s5 et s17 - parmi les 18 sondages réalisés) et dans les deux profils de référence, dont une poche de charbons de bois, d'une épaisseur de 60 cm, dans le profil Loundoungou-2 (Annexe 8).

DISCUSSION

Le dispositif de Loundoungou se trouve sur un interfluve émoussé, d'altitude comprise entre 470 m et 395 m, dont le paysage est marqué par la présence de termitières géantes.

Proposition d'un modèle d'organisation des sols de Loundoungou en fonction de la topographie et de l'altitude.

A l'échelle du dispositif, les sols présentent un gradient de texture et de couleur, qui est bien relié avec la topographie et l'altitude. Les sols sont rouge-jaune (5YR) et argilo-sableux en sommet d'interfluve. De l'amont vers l'aval du versant, les sols changent de texture (argilo-sableux → sablo-argileux → sableux) puis de couleur (rouge-jaune 5YR → brun-jaune 10YR → gris, 2.5Y).

Ce gradient de texture et de couleur que nous avons observé à Loundoungou le long d'une toposéquence a été fréquemment observé en zone tropicale, par exemple à Yangambi, RDC (Van Wambeke 1995) et plus généralement dans la littérature qui a étudié la transition entre les sols ferrallitiques rouges et les sols ferrugineux beiges/jaunes (Boulvert 1968, Chatelin 1969, Ségalen 1969, Beaudou 1971, Fritsch et al. 1989). Une texture plus sableuse du sol en aval par rapport à l'amont proviendrait d'un phénomène de ruissellement et du départ des éléments fins (dont l'argile) dans les cours d'eau (Van Wambeke 1985). Un gradient de couleur du rouge vers le jaune correspond à un sol de plus en plus humide, l'hématite, l'oxyde de fer typique d'un sol rouge, oxygéné et sec étant remplacé par la goethite, l'oxyde de fer typique d'un sol jaune, oxygéné et humides (Segalen 1969, Torrent et al. 1983). On peut alors suggérer que les sols de Loundoungou, majoritairement rouge-jaune et sans taches, illustrent des sols oxygénés avec un état alternativement sec et humide.

En utilisant la très bonne relation entre les groupes de sol et l'altitude (Fig. 14), le dispositif de Loundoungou devrait être majoritairement (85%) occupé par des Xanthic Acrisols, des sols représentés par le profil Loundoungou-1. Ceci n'est pas en accord avec les sols que l'on aurait dû trouver d'après la carte mondiale des sols (Verelst 2009), c'est-à-dire des Xanthic Ferralsols. Nous avons aussi trouvé des Arenic Acrisol (10%, représenté par Loundoungou-2), des Arenosols (3%) et des Gleysols (2%). Cette distribution des sols devra être validée par une cartographie des sols qui reposera sur un taux d'échantillonnage plus élevé que celui qui a été réalisé lors de notre mission (18 sondages pour 800 ha → 1 sondage pour 44 ha).

Finalement, nous proposons un modèle d'organisation des sols : Acrisol-Arenosol-Gleysol (Fig. 18). Ce modèle présente certaines similitudes mais aussi des différences avec d'autres modèles proposées en Amazonie : Acrisol-Plinthosol-Gleysol (Fritsch et al. 2007) ou Acrisol-Podzol (do Nascimento et al. 2008).

Des termitières géantes qui influencent localement les caractéristiques des sols et certainement le fonctionnement de la forêt.

Le paysage de Loundoungou est marqué par les termitières géantes. Par leur taille (hauteur de 5-7 m, diamètre de 10-12 m), ces termitières semblent être semblables aux termitières géantes déjà observées dans d'autres zones d'Afrique centrale : au Congo dans la région d'Ouessou (Lanfranchi & Schwartz 1990), en RCA (Gide 1927, Boyer 1969, Boulvert 1994), en RDC, à

Yangambi (Meyer 1960) et dans la région de Lubumbashi (Mujinya et al. 2013, 2014) (Fig. 8b). Ces termitières géantes ont été observées dans les savanes arborées péri-forestières, dans les forêts claires et une végétation naturelle de « woodland » (terme employé par Mujinya et al. 2013), mais aussi en forêt, vers Ouessou (Lanfranchi & Schwartz 1990) ou à la frontière Cameroun-Congo-RCA (Guillot 1981-1982, Boulvert 1983).

Ces termitières géantes sont construites par des termites du genre *Macrotermes* afin de maintenir un microclimat régulé qui est favorable au développement de champignons du genre *Termitomyces* dont se nourrissent ces termites (Aanen & Eggleton, 2005). En Afrique, elles seraient l'œuvre de *Macrotermes subhyalinus* (rex) (anciennement nommé *Bellicositermes bellicosus* var. *rex*) dans l'hémisphère nord et de *Macrotermes falciger* dans l'hémisphère sud (Duboisset 2003).

Nos premières observations sur le périmètre du dispositif montrent qu'elles sont réparties inégalement à l'échelle du dispositif (Fig. 11). Ce résultat doit être confirmé en s'appuyant sur les fiches de pré-inventaire. Nous n'avons pas les informations pour estimer leur densité moyenne, à l'échelle du dispositif. Meyer (1960) et Mujinya et al. (2013) ont dénombré des densités de 4 à 7 termitières/ha et de 3 à 5 termitières/ha, en RDC, respectivement à Yangambi et dans la région de Lubumbashi. En retenant une densité moyenne de 5 termitières/ha, leur aire d'influence à Loudoungou pourrait alors représenter, suivant leur taille, entre 4 et 15% de la superficie du dispositif.

Nous avons trouvé que ces termitières influencent les caractéristiques des sols de Loudoungou : les sols de surface sont plus argileux et plus rouges que ceux de sols témoins, non influencés par ces termitières. Ce résultat sera discuté plus spécifiquement dans le chapitre 4 de ce document.

Des indices d'une perturbation passée dans la forêt de Loudoungou

Indice 1 :

Sur le dispositif de Loudoungou, nous avons trouvé des charbons de bois, en général vers 70-100 cm de profondeur. La datation au ^{14}C de ces charbons permettra de connaître l'âge des feux qui les ont fabriqués. On s'attend à ce que cet âge soit proche de 2250 ans qui correspond à l'âge d'un charbon de bois prélevé dans le dispositif de Yoko (RDC, thèse M. Lokonda) dans une situation comparable (93 cm de profondeur, peuplement de *Gilbertiodendron dewevrei*). Si cette date est confirmée, elle serait compatible avec une perturbation de la forêt qui a eu lieu en Afrique centrale il y a environ 2500 ans (Maley 2001). Un échantillonnage complémentaire, centré sur la recherche de charbons de bois, permettra d'estimer leur abondance et leur distribution au sein du dispositif.

Indice 2 :

Sur le dispositif de Loudoungou, nous avons trouvé des termitières géantes qui sont a priori abandonnées. Cet abandon, s'il est vérifié sur l'ensemble du dispositif, suggère un changement passé de végétation. En effet, on peut supposer que la construction de ces termitières a été réalisée dans un milieu qui offre un micro-climat plus favorable à *Macrotermes subhyalinus* (rex) que celui d'aujourd'hui. Ce milieu pourrait correspondre à des forêts claires ouvertes ou à des savanes péri-forestières, les termitières géantes étant aujourd'hui principalement actives dans ce type de milieu (ex. Mujinya et al. 2013).

Des sols avec un horizon de surface sombre.

Le profil de Londoungou-2 a un horizon de surface qui est plus sombre que celui de Londoungou-1 (value=3 vs 4). Cela est certainement à relier avec la poche de charbons de bois qui est présente dans le profil de Londoungou-2 à partir de 60 cm de profondeur. Cet horizon de surface sombre est similaire à ceux observés en Guyane au sein de « montagnes couronnées », des zones anciennement occupées par les amérindiens. Par contre, comme nous n'avons pas observé de tessons de poterie à Londoungou, nous ne pouvons pas rattacher cet horizon de surface sombre à un horizon typique d'une « terra mulata ».

Tableau 1 : Texture et couleur de sols de surface 0-20 cm à l'intérieur vs à l'extérieur de la zone d'influence de 4 termitières géantes de Londoungou.

La texture perçue sur le terrain était sableuse et légèrement argileuse (S(A)), sablo-argileuse (SA) ou argilo-sableuse (AS)

Termitière	Hauteur (m)	Intérieur/Extérieur	Texture	Couleur Munsell échantillon sec
T1	6,3	Intérieur	AS	5YR5/4
		Extérieur	SA	7.5YR4/3
T2	7,9	Intérieur	AS	5YR5/4
		Extérieur	AS	5YR3/3
T3	4,6	Intérieur	SA	5YR4/4
		Extérieur	S(A)	7.5YR4/4
T4	5,6	Intérieur	SA	5YR4/3
		Extérieur	S(A)	7.5YR4/4

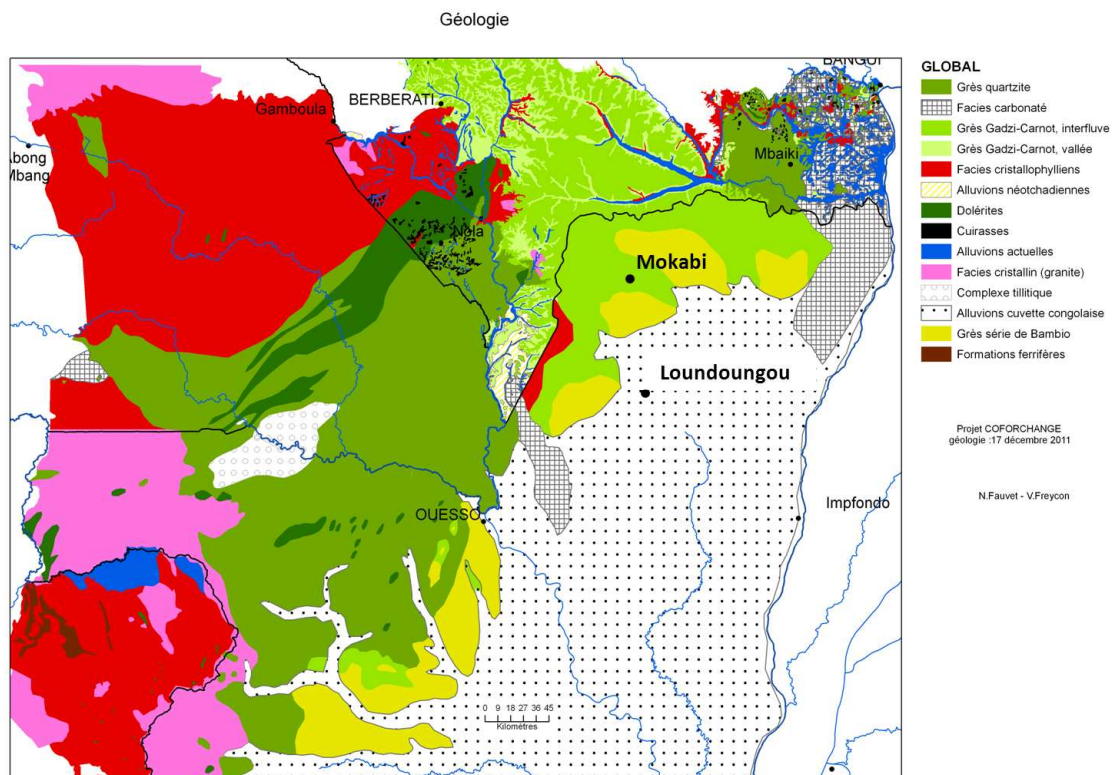


Figure 2 : Localisation des dispositifs de Loundoungou et de Mokabi sur la carte géologique du projet CoForChange.

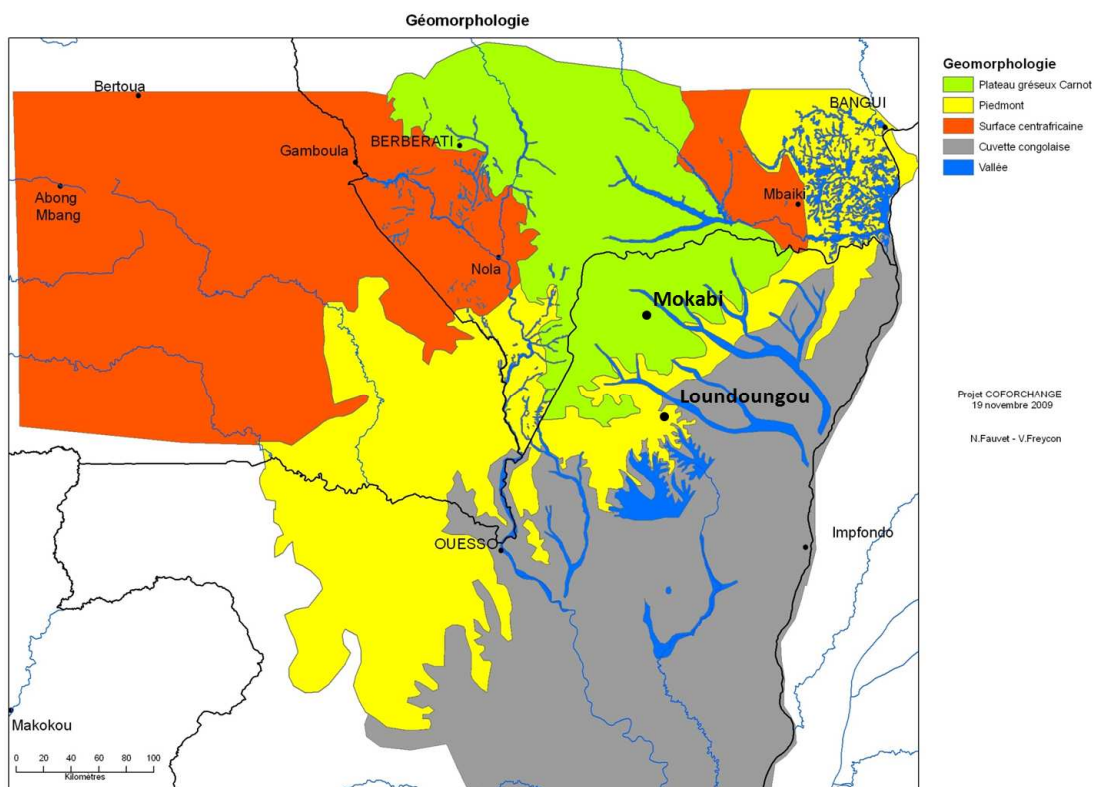


Figure 3 : Localisation des dispositifs de Loundoungou et de Mokabi sur la carte géomorphologique du projet CoForChange.

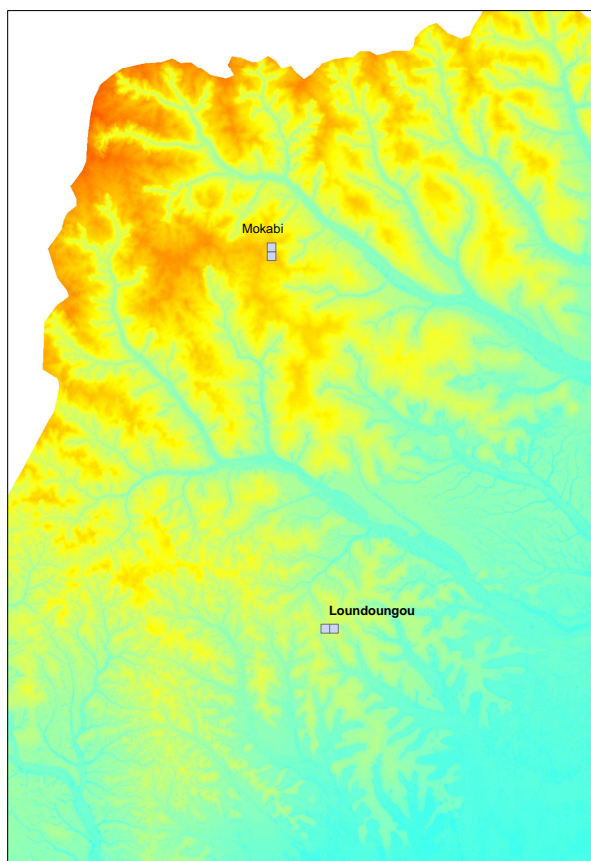


Figure 4 : Localisation des dispositifs de Loundougou et de Mokabi sur une image SRTM à 90 m de résolution. La gamme des altitudes varie entre 0 m (bleu) et 1100 m (rouge).

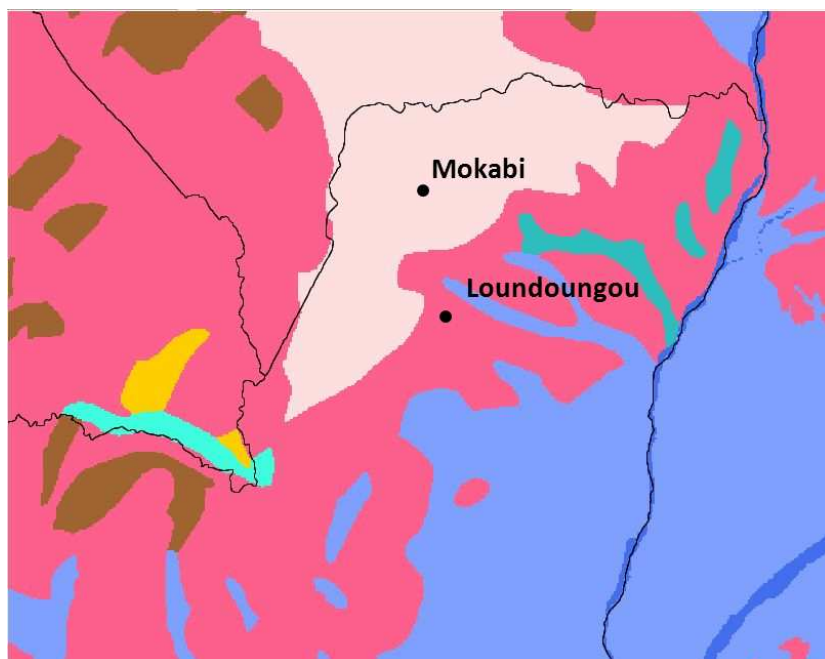


Figure 5 : Localisation des dispositifs de Loundougou et de Mokabi sur un extrait de la carte mondiale des sols (Verelst 2009). La couleur rose correspond à des Arenosols et la couleur rouge à des Ferralsols

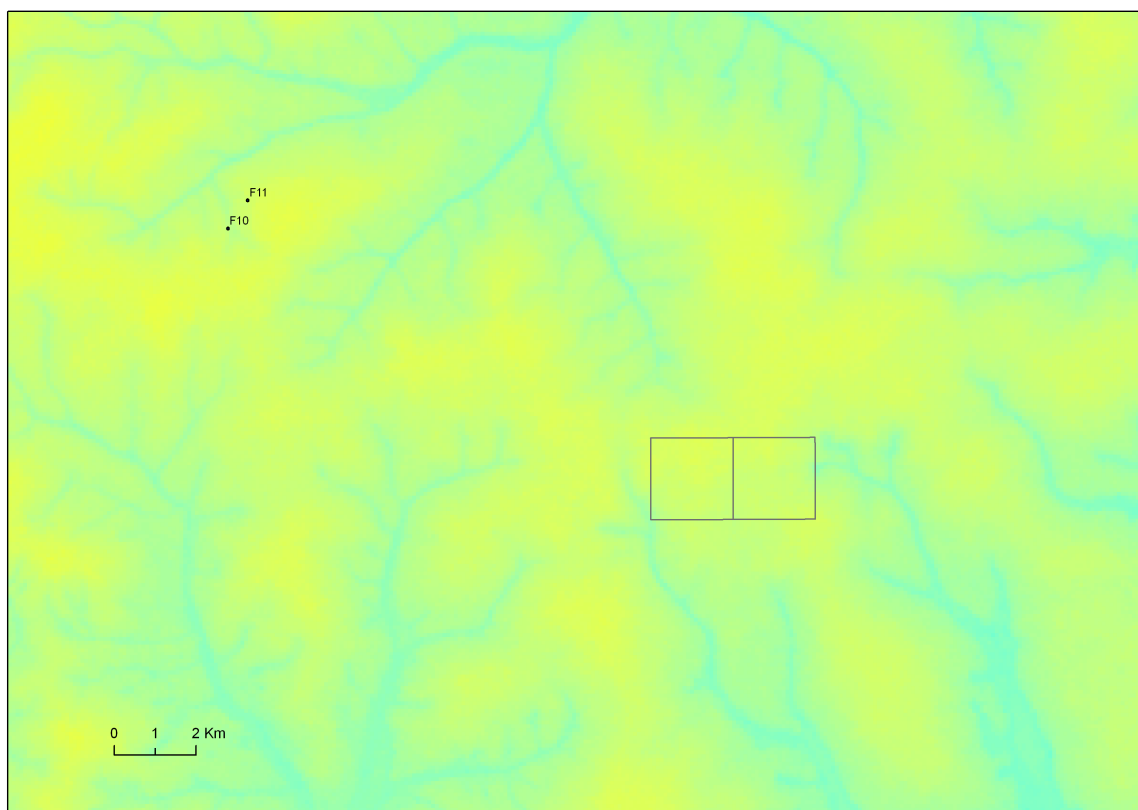


Figure 6 : Localisation du dispositif DynAfFor de Loundoungou et des fosses F10 et F11 du projet CoForChange,

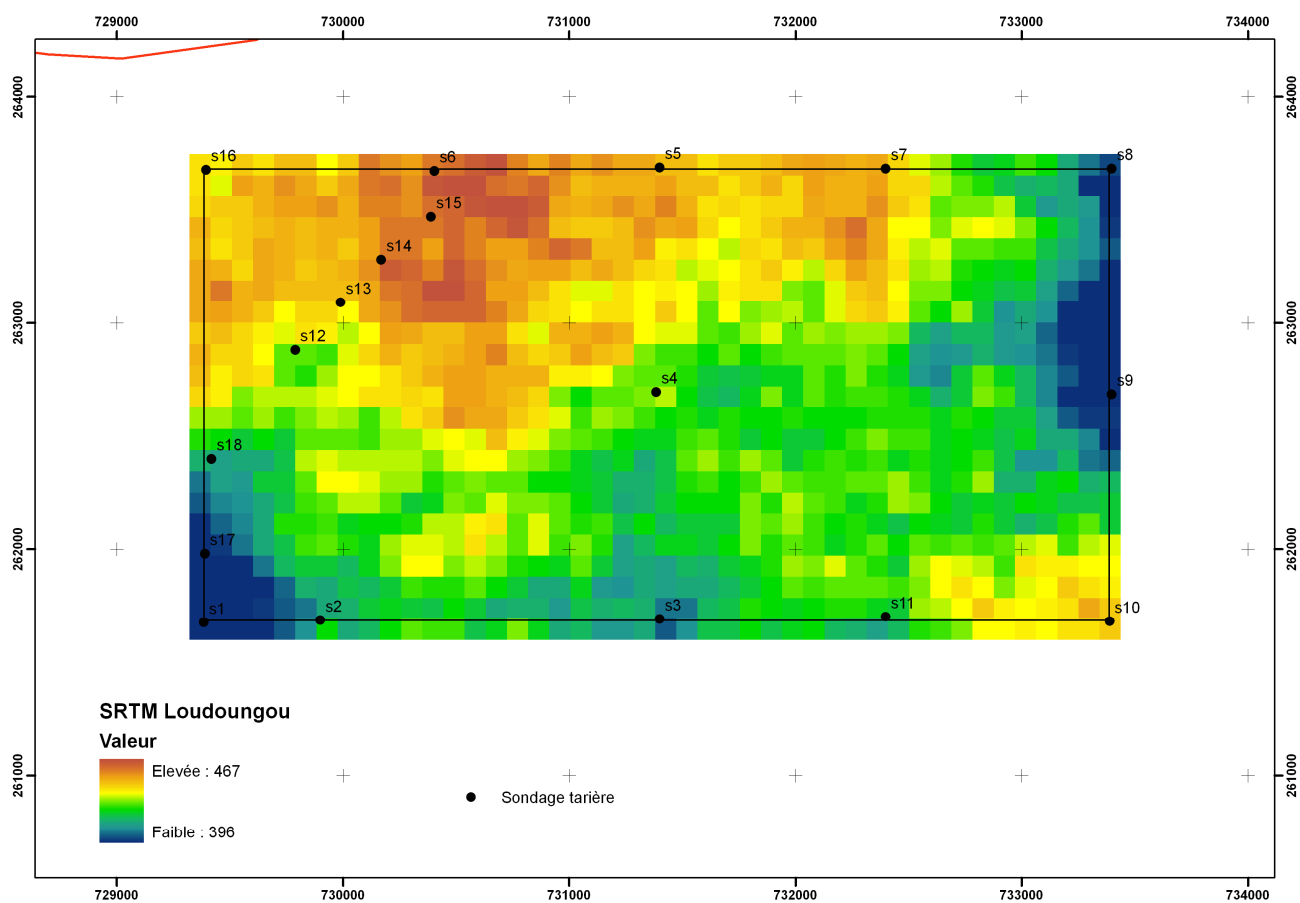


Figure 7 : Localisation des 18 sondages tarière effectués sur le dispositif de Loudoungou. Le fond correspond à une image SRTM à 90 m de résolution. La gamme des altitudes varie de 396 m (bleu) à 467 m (orange)

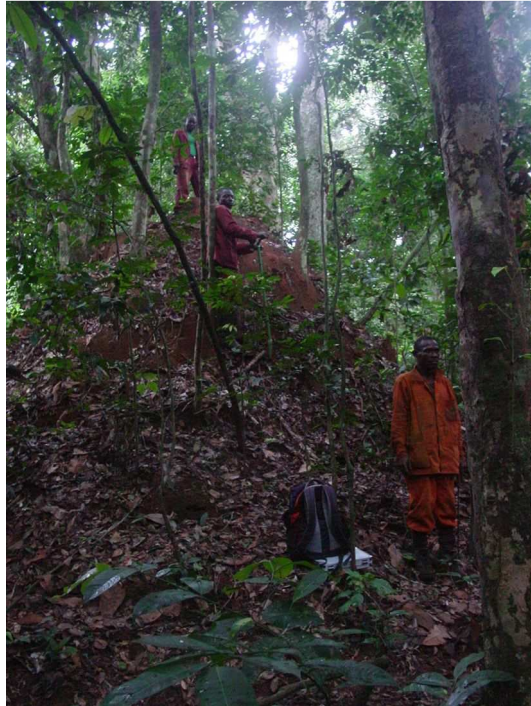


Figure 8a : Exemple d'une termitière géante parmi celles fréquemment rencontrées sur le dispositif de Loundoungou

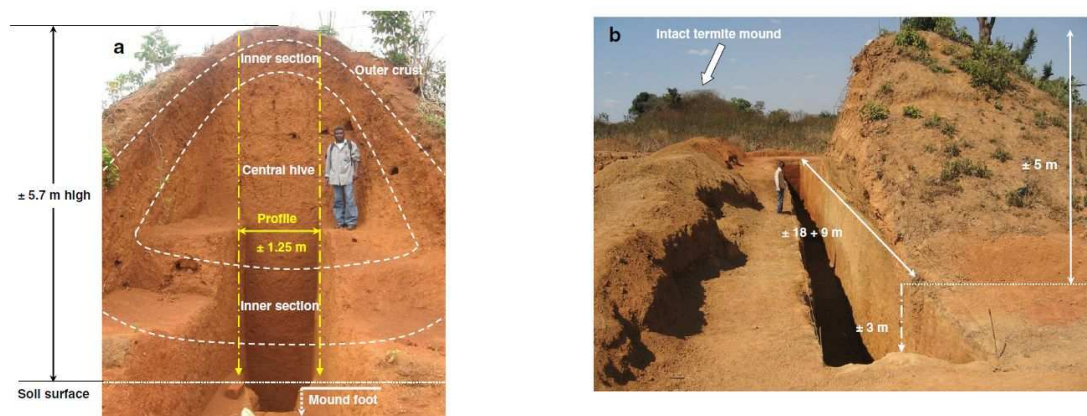


Figure 8b : Photos de termitières géantes de la région de Lubumbashi (RDC) tirées de Mujinya et al. (2013)

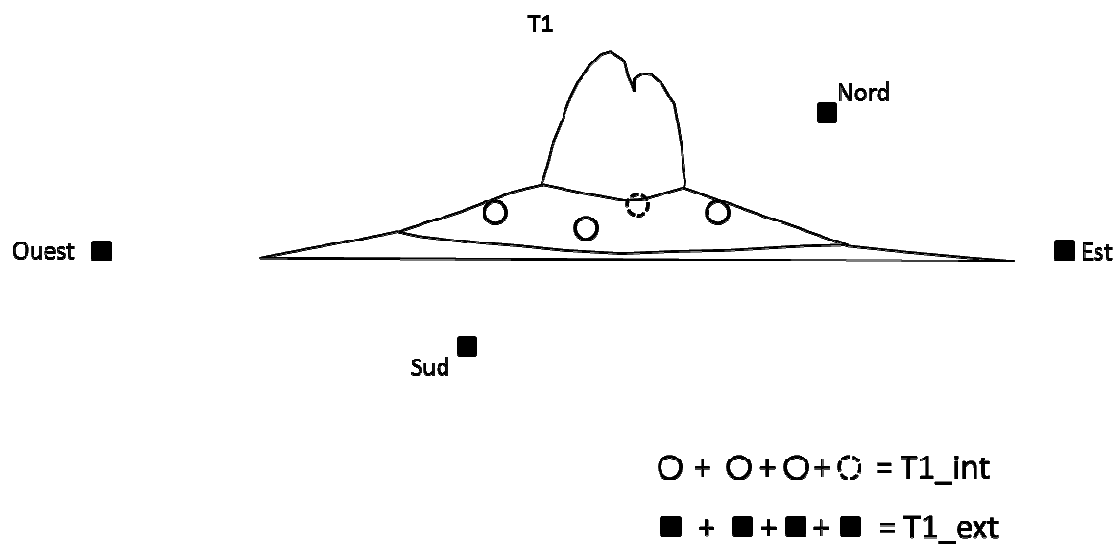


Figure 9 : Schéma du protocole « termitière » réalisé à Loundoungou.
Exemple de la termitière T1. Les 4 échantillons de sol élémentaires représentés par des ronds vides composent l'échantillon composite de la zone qui est dans l'aire d'influence de la termitière T1. Les 4 échantillons de sol élémentaires représentés par des carrés pleins composent l'échantillon composite de la zone qui est en-dehors de l'aire d'influence de la termitière T1.

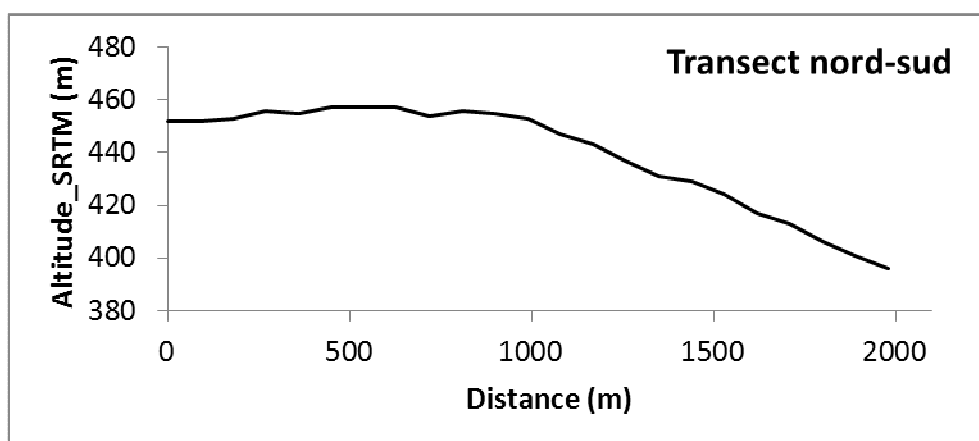


Figure 10 : Schéma d'une coupe topographique du dispositif de Loundoungou allant du sondage s16 au sondage s1 (Fig. 7)

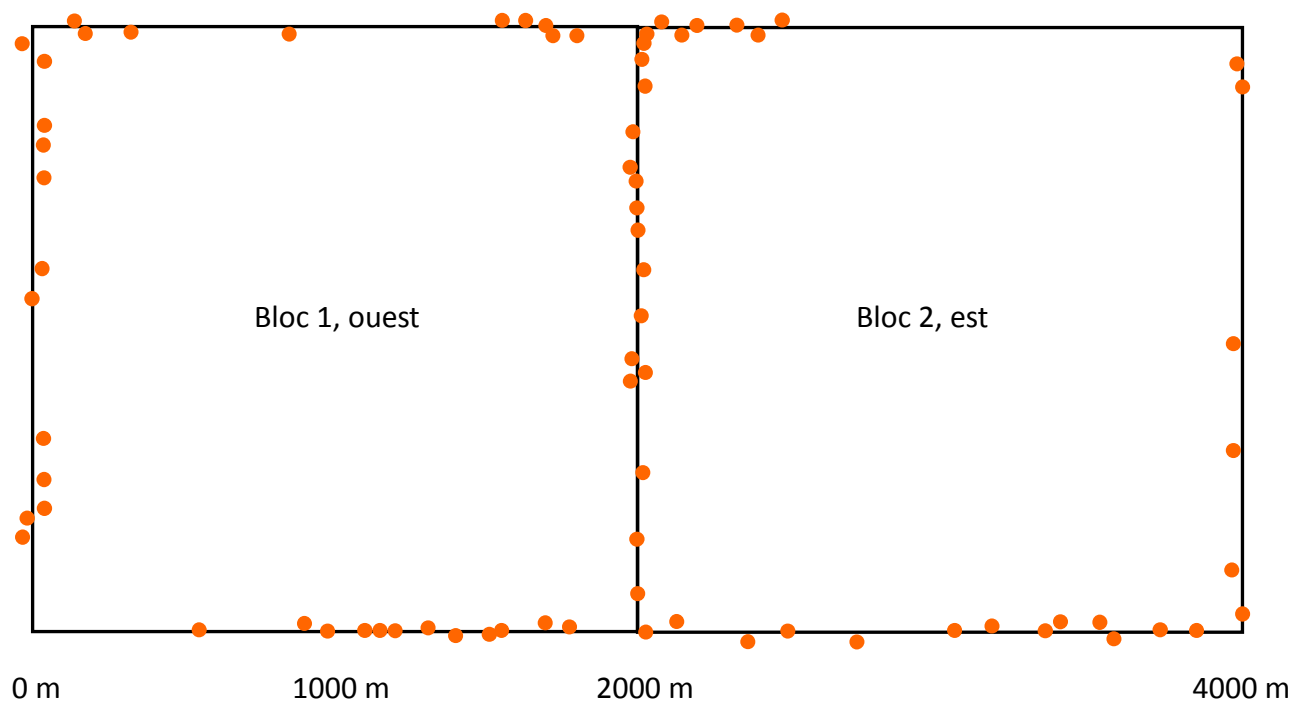


Figure 11 : Répartition des termitières géantes inventoriées sur le périmètre du dispositif de Loundoungou et sur le layon qui délimite les deux blocs. Ont été inventoriées les termitières qui étaient sur un layon et dans une zone tampon de visibilité de 20 m de part et d'autre du layon

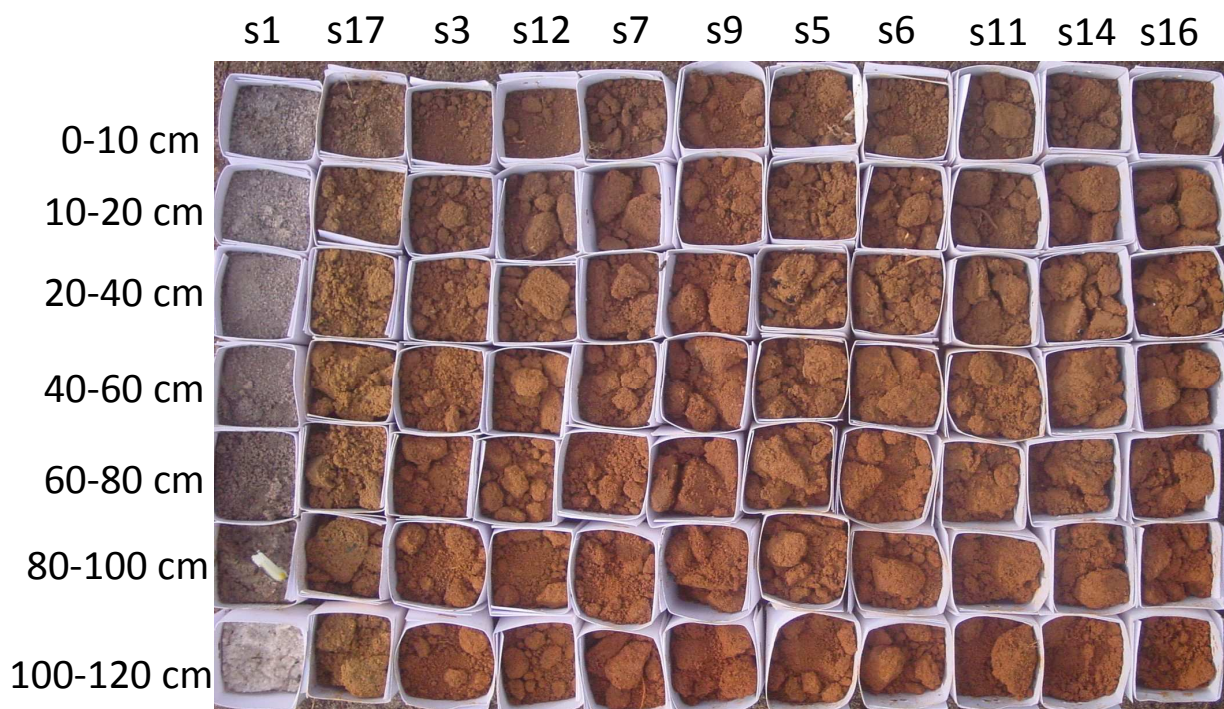


Figure 12 : Echantillon de 11 sondages tarière du dispositif de Loundoungou. Les couleurs (Munsell soil color chart) et la texture de l'ensemble des 18 sondages tarière de Loundoungou sont données dans l'Annexe 2.

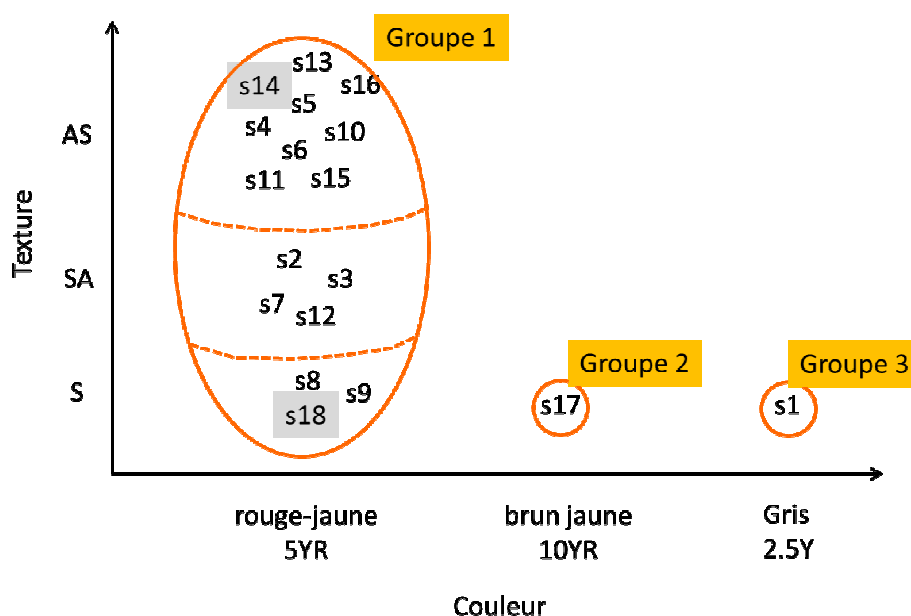


Figure 13 : Les trois groupes de sol de Loundoungou présentés de manière synthétique suivant un gradient de couleur (axe horizontal). Le 1^{er} groupe présente aussi un gradient de texture (axe vertical). Les deux profils de référence, Loundoungou-1 et Loundoungou-2, ont été choisis aux deux extrêmes de ce gradient, à proximité des sondages s14 et s18

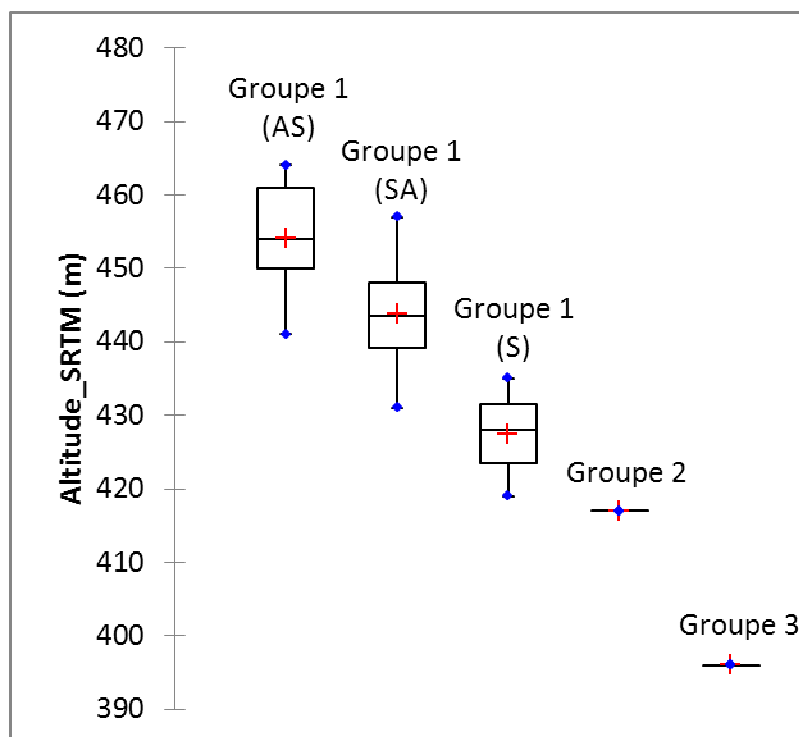


Figure 14 : Distribution des 3 groupes de sol de Loundoungou (Fig. 13) en fonction de l'altitude.



Figure 15 : profil du sol de référence Loundoungou-1 (Description détaillée dans l'Annexe 3)



Face orientée sud

La couleur du sol est mal restituée à cause d'un éclairage naturel insuffisant.



Face orientée est (poche de charbons de bois)

Photo : S. Gourlet-Fleury

Figure 16 : profil du sol de référence Loundougou-2
(Description détaillée dans l'Annexe 4)



Termitière T2



Termitière T3

Figure 17 : Illustration du Tab. 1 pour les termitières T2 et T3. La couleur du sol de surface [0-20 cm] qui se trouve dans l'aire d'influence d'une termitière (tas de terre central) est plus rouge que les sols de surface témoins voisins qui ont été prélevés dans les 4 directions (nord, est, sud, ouest).

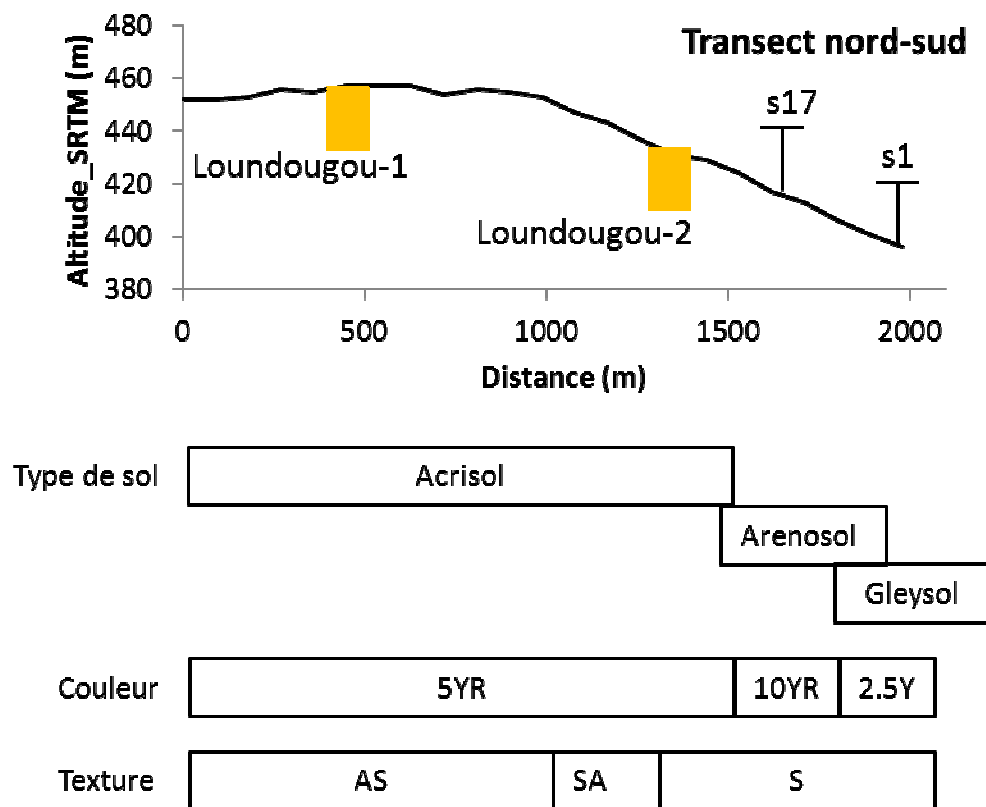


Figure 18 : Proposition d'un schéma d'organisation des sols à Loundougou

Chapitre 2 : CARACTERISATION DES SOLS DE MOKABI

MATERIEL & METHODES

Sites d'étude

Le dispositif de 800 ha de Mokabi se trouve au nord de la République du Congo, dans l'Unité Forestière d'Aménagement (UFA) Mokabi-Dzanga de la société forestière Rougier Mokabi SA. Ce dispositif est plus précisément situé dans l'Unité Forestière de Production UFP 5.

Ce dispositif se trouve sur des grès de Carnot (Fig. 2) et sur une unité géomorphologique qui correspond à un plateau (Boulvert et al. 1996) (Fig. 3). L'altitude moyenne est de 530 m (Fig. 4). Selon la classification de Köppen, le dispositif est soumis au climat de type Aw, tout en étant à proximité de la limite avec le climat de type Am. En tenant compte des précipitations relevées entre 2000 et 2008 à Ouessou, Impfondo et Mbaïki, nous avons estimé que les précipitations annuelles moyennes sont autour de 1670 mm. D'après la carte mondiale des sols (Verelst 2009), ce site est occupé majoritairement (60%) par des Ferralic Arenosols (Fig. 5). On peut aussi trouver des Dystric Regosols (20%) et des Ferric Acrisols (20%).

Ce dispositif de 800 ha est subdivisé en deux blocs carrés et contigus de 400 ha (2 km x 2 km), selon une direction nord-sud (bloc 1 au sud et bloc 2 au nord) (Fig. 19, Fig. 20). Ces deux blocs n'ont pas encore été exploités. Un de ces deux blocs sera exploité dans les prochaines années, tandis que l'autre ne le sera pas et représentera le témoin.

Parmi les 42 espèces qui sont actuellement inventoriées dans les sentiers de ce dispositif, les espèces majoritaires sont le Niové (*Staudtia kamerunensis* var. *gabonensis*), l'Otunga (*Polyathica suaveolens*), l'Owom (*Manilkara maboakensis*) et le Tchitola (*Prioria oxyphylla*). En parcourant ce dispositif, nous avons souvent noté la présence au sol de termitières, en général de 2-3 m de haut et de 1-2 m de diamètre (Fig. 21a).

Variation spatiale des sols à l'échelle du dispositif

Pour avoir un aperçu de la variabilité verticale et de l'organisation spatiale des sols à l'échelle du dispositif, nous avons réalisé 15 sondages tarière jusqu'à 1,20 m de profondeur (Fig. 20). Ces 15 sondages étaient régulièrement répartis sur l'ensemble du dispositif sauf dans la zone nord-ouest qui n'était pas encore accessible (layons non ouverts). Une rapide description de ces 15 sondages tarière nous a conduit à définir un seul profil de sol de référence sur ce dispositif.

Variation spatiale des sols à l'échelle locale, liée à la présence de termitières

Pour avoir un aperçu de l'aire d'influence des termitières sur les sols, nous avons prélevé des échantillons de sols de surface [0-20 cm] sur un transect à différentes distances, avec un pas de 3 m, en partant de deux termitières (T1, T2) qui faisaient respectivement 2,5 m et 3,8 m de hauteur. Le critère d'arrêt correspondait à retrouver un sol similaire par sa couleur et sa texture à un sol témoin voisin qui était éloigné d'au moins 25 m d'une termitière. Finalement, nous avons prélevé des échantillons jusqu'à respectivement 6 m et 12 m de distance de ces deux termitières (Fig. 22). Ces échantillons seront analysés par le laboratoire du Cirad (Montpellier) pour préciser leur granulométrie.

Profil de sol de référence

Une fosse a été ouverte jusqu'à une profondeur de 1,40 m, qui nous a permis de décrire un profil de sol de référence. Ce profil a été découpé en 5 horizons. Nous avons prélevé un

échantillon représentatif de chaque horizon (total : 5 échantillons), en vue d'analyses physico-chimiques qui seront réalisées par le laboratoire du Cirad à Montpellier (Annexe 7). La description de ce profil sur le terrain et les résultats des analyses permettront de rattacher ce profil à la classification internationale des sols (IUSS Working Group WRB 2006). Nous avons aussi prélevé avec un cylindre 5 échantillons de sol afin de mesurer la densité apparente (Annexe 7). Enfin, en vue de couvrir la variabilité granulométrique des sols à l'échelle du dispositif de Mokabi, nous avons aussi prélevé à la tarière un total de 10 échantillons de sol au niveau de deux sondages qui sont situés aux deux extrêmes de la gamme de variabilité granulométrique des sols que nous avons prospectés, le sondage s1 représentant le sol le plus sableux et le sondage s15 le sol le plus argileux (Fig. 20). Des analyses granulométriques seront réalisées par le laboratoire du Cirad à Montpellier.

Histoire des forêts

Pour tester si la forêt du dispositif de Mokabi a été perturbée dans le passé, nous avons tout d'abord recherché des charbons de bois lors de la prospection des 15 sondages tarière et lors de l'ouverture et la description de la fosse. Nous avons aussi prélevé sur le profil de sol de référence 14 échantillons de sol jusqu'à 135 cm, à des profondeurs régulières : 0-5 cm, 10-15 cm, 20-25 cm, ..., 110-115 cm, 120-125 cm et 130-135 cm. Ces échantillons de sols seront envoyés à la plateforme isotopique de l'INRA Champenoux, afin de mesurer la composition isotopique du carbone à ces différentes profondeurs. Ces mesures permettront de détecter un éventuel remplacement de la forêt par des savanes dans le passé, jusqu'à environ 3000 années BP.

RESULTATS

Un plateau traversé par une dépression

La topographie du dispositif de Mokabi est globalement plane sous la forme d'un plateau d'environ 530 m d'altitude. La prospection sur le terrain nous a permis de détecter une légère dépression qui traverse ce plateau dans la partie nord du dispositif (Fig. 19, Fig. 20). Bien que sur le terrain aucun cours d'eau ne soit perceptible au sein de cette dépression, elle dessine un axe de drainage qui est orienté vers l'est en direction de la rivière Bapeke (Fig. 19).

Un plateau colonisé par des termitières

En parcourant ce dispositif, nous avons observé assez souvent des termitières, a priori encore actives (sol frais rouge), plutôt hautes que larges (en moyenne 3 m de haut et 1 m de diamètre, Fig. 21a). Chaque termitière est souvent « collée » à un arbre ou bien l'entoure. Un rapide examen de quelques fiches du pré-inventaire montre que leur nombre au sein d'une parcelle de 1 ha peut varier de 10 à 0, le nombre moyen semblant être autour de 4-5. Une vérification sur le terrain de la cartographie des termitières de 3 parcelles (385, 384, 383) montre que toutes les termitières n'ont pas été inventoriées sur les fiches de pré-inventaire, soit parce qu'elles étaient considérées comme pas assez hautes (2 m de haut), soit par oubli. Cette vérification suggère que le nombre de ces termitières est certainement sous-estimé.

Des sols homogènes à l'échelle du dispositif avec une variation de la texture et de l'humidité

Sur les 15 sondages tarière, nous avons observé des sols globalement homogènes (Fig. 24, Annexe 2). Le profil type d'un sol de Mokabi est le suivant : texture à dominante sableuse, augmentation de la teneur en argile et de l'humidité vers 60 cm de profondeur, couleur rouge (2.5YR), absence de taches et d'éléments grossiers. Par rapport à ce profil type, nous avons pu toutefois distinguer trois sous-groupes de sol en fonction d'un gradient de texture allant

d'argilo-sableux (s3, s9, s12, s13, s15), à sablo-argileux (s5, s8, s10, s11, s14) puis à sableux (s1, s2, s4, s7, s8) (Fig. 25). Nous avons aussi observé un gradient d'humidité parallèle au gradient de texture : les sols sableux restaient humides jusqu'à 120 cm de profondeur, tandis que les sols argilo-sableux devenaient secs en profondeurs. Pour définir le profil de référence moyen du dispositif de Mokabi, nous avons choisi un sol à texture intermédiaire (sablo-argileux, proche du sondage s8). Nous avons complété l'étude de ce profil en prélevant des échantillons de sol de deux sondages, s1 et s15, représentatif respectivement des sols sableux et argilo-sableux.

Des sols distribués suivant l'altitude

Lorsque l'on croise pour chaque sondage tarière son appartenance à un sous-groupe de texture (Fig. 25) avec son altitude estimée par une image SRTM à 90 m de résolution (Annexe 6), on observe une bonne relation entre ces sous-groupes de texture et l'altitude (Fig. 26) : les sols argilo-sableux, sablo-argileux et sableux se trouvent respectivement en moyenne à 554 m, 545 m et 523 m d'altitude.

Un profil de sol de référence à rattacher probablement à un Arenic rhodic Acrisol

Le profil de sol de référence du dispositif de Mokabi (Fig. 27) est décrit précisément dans l'Annexe 5. Sa description synthétique est la suivante. Ce profil a une texture à dominante sableuse mais une augmentation de la teneur en argile est perceptible à partir de 25 cm de profondeur. Sa couleur passe progressivement de brun rouge sombre (5YR3/3) en surface [0-5 cm] à rouge (2.5YR4/8) à 140 cm de profondeur. Un mat racinaire de 2 cm d'épaisseur est présent dans l'horizon de surface. En-dessous, les racines sont peu nombreuses mais assez bien réparties sur l'ensemble des horizons. On observe encore quelques grosses racines dans l'horizon de profondeur compris entre 100/110 et 140 cm. Cet horizon était très sec et très compact, tout en étant très poreux. Cette porosité est à rattacher avec la présence de nombreux pores millimétriques créés certainement par les termites. Nous n'avons observé ni taches, ni éléments grossiers, ni charbons de bois.

Ces observations nous conduisent à rattacher ce profil à un Arenic rhodic Acrisol, l'Acrisol étant dû à la présence probable d'un horizon d'accumulation d'argile (à valider par les analyses granulométriques), la propriété arenic étant due à la forte teneur en sable et la propriété rhodic étant due à sa couleur rouge.

Influence des termitières sur les caractéristiques du sol de surface jusqu'à une distance comprise entre 3 m et 12 m.

Nous avons trouvé que les sols proches des deux termitières étaient plus argileux et plus rouges que les sols témoins. Au fur et à mesure que l'on s'éloigne d'une termitière, les sols se rapprochent progressivement des caractéristiques des sols témoins (Tab. 2). La distance jusqu'à laquelle l'influence de la termitière est perceptible sur la nature des sols dépend de la termitière : pour la termitière T1 de 2,5 m de hauteur, cette distance est comprise entre 3 m et 6 m, tandis que pour la termitière T2 de 3,8 m de hauteur, elle est comprise entre 9 m et 12 m.

Des sols sans charbons de bois

Nous n'avons pas trouvé de charbons de bois dans les sols du dispositif de Mokabi, ni dans les 15 sondages tarière, ni lors de l'ouverture et la description du profil de référence.

DISCUSSION

Proposition d'un modèle d'organisation des sols de Mokabi en fonction de l'altitude

Le dispositif de Mokabi est situé sur un plateau d'altitude moyenne de 530 m, avec de faibles pentes (1-3%) peu perceptibles sur le terrain. Pourtant, à l'échelle du dispositif, ces pentes sont suffisantes pour observer une gamme d'altitude entre 505 et 570 m et pour détecter une dépression qui dessine un axe de drainage (Fig. 20) dans lequel nous n'avons pas observé de cours d'eau.

Les sols de Mokabi, de couleur homogène rouge (2.5YR), présentent un gradient de texture qui s'organise suivant cette dépression. Les sols sont sableux dans la dépression, aux altitudes les plus faibles, alors qu'ils sont sablo-argileux aux altitudes intermédiaires, puis argilo-sableux aux altitudes les plus élevées de ce plateau. Ce gradient de texture est classique le long de toposéquences caractérisées par des pentes plus élevées (Biblio), mais à notre connaissance, un tel gradient n'a pas été observé sur des pentes aussi faibles. Il peut s'expliquer par l'existence d'un axe de drainage souterrain privilégié qui accentue le départ des éléments fins, l'affaissement du modelé et l'enrichissement relatif en sables des sols de la dépression. Cette explication est en accord avec le fait que nous ayons trouvé, associé à ce gradient de texture, un gradient d'humidité, les sols sableux de la dépression étant humides en profondeur alors que les sols argilo-sableux des altitudes les plus élevées, étant secs en profondeur.

En utilisant la bonne relation entre les groupes de sol et l'altitude (Fig. 26), le dispositif de Mokabi devrait être majoritairement (50%) occupé par des Rhodic Arenosols dans les dépressions puis par des Rhodic Acrisols (35%) aux altitudes les plus élevées et les Arenic Acrisols (15%, représenté par le profil Mokabi) aux altitudes intermédiaires. D'après la carte mondiale des sols (Verelst 2009), on s'attendait à trouver des Ferralic Arenosols (60%), des Dystric Regosols (20%) et des Ferric Acrisols (20%). La correspondance est donc relativement bonne pour le 1^{er} ordre même si nous n'avons pas trouvé de Regosols. Par contre, nous n'avons pas observé sur les Arenosols et les Acrisols des propriétés respectivement « ferralic » et « ferric ». Nos observations sont aussi similaires au sol de référence BER21 décrit par Boulvert (1983) et classé dans le système CPCS (1967) comme un « sol ferrallitique moyennement à fortement désaturés, stricto-sensu, appauvris, rouges, décolorés en surface, sableux, des interfluves sur grès ou grès quartzite ». Dans le système de classification du WRB, nous avons classé ce sol comme un Arenic Acrisol (Freycon 2009). Cette distribution des sols devra être validée par une cartographie des sols qui reposera sur un taux d'échantillonnage plus élevé que celui qui a été réalisé lors de notre mission (15 sondages pour 800 ha → 1 sondage pour 53 ha).

Finalement, nous proposons un modèle d'organisation des sols sur ce dispositif en fonction de la distance à la dépression : Acrisols-Arenosols (Fig. 28).

Des termitières qui influencent localement les caractéristiques des sols et certainement le fonctionnement de la forêt.

Le dispositif de Mokabi est marqué par la présence de termitières. Par leur taille (hauteur de 2-3 m, diamètre de 1-3 m), ces termitières semblent être semblables à celles observées en RCA sur des sols sableux et frais de milieux non perturbés et ombragés (Boulvert 1994, citant les travaux de Grassé, Noirot et Boyer). Elles seraient l'œuvre de *Macrotermes bellicosus* (anciennement nommé *Bellicositermes natalensis*) afin de maintenir un microclimat régulé (T=30°C, 100% d'humidité) qui est favorable au développement de champignons du genre *Termitomyces* dont se nourrissent ces termites (Korb & Linsenmair 1998, Aanen & Eggleton, 2005). Les termitières élaborées par cette espèce se trouvent aussi dans des zones de savanes, par exemple au Nigéria (Fig. 21b ; Abe et al. 2009). Leur forme dépend du microclimat : en

Côte d'Ivoire, dans le parc de la Comoë, Korb & Linsemair (1998) ont montré que les termitières élaborées par *Macrotermes bellicosus* avaient une forme de dômes en forêt et une forme de « cathédrales » en savanes. Abe et al. (2009) ont aussi trouvé des formes différentes de ces termitières entre un bas de versant et un haut de versant (Fig. 21b).

Nous avons observé que ces termitières influencent les sols de surface qui sont plus argileux et plus rouges qu'un sol témoin. Ce point sera discuté plus spécifiquement dans le chapitre 4 de ce document. Ayant estimé leur densité entre 0 et 10 termitières/ha et leur influence sur les sols jusqu'à une distance de 5-10 m, leur aire d'influence pourrait représenter entre 0 et 8% de la superficie des sols du dispositif de Mokabi.

Une forêt non perturbée

Comme nous n'avons trouvé aucun charbon de bois à Mokabi, autant lors de la prospection tarière que lors de la description du profil de référence, nos résultats suggèrent que la forêt du dispositif de Mokabi n'a pas subi de feux dans le passé, au moins jusqu'à 3000 ans BP. Ce résultat devra être confirmé par des sondages complémentaires au sein de ce dispositif. S'il est confirmé, ce résultat peut-il être extrapolé à l'ensemble des sols forestiers sur grès de Carnot ? Il faudra certainement le nuancer puisqu'avec J.F. Gillet, nous avons trouvé quelques charbons de bois (mais peu nombreux) dans le profil F1 du projet CoForChange qui est situé à environ 7 km du dispositif de Mokabi (Fig. 19, Gourlet-Fleury et al. 2010).

Tableau 2 : Texture et couleur de sols de surface 0-20 cm en fonction de la distance à deux termitières T1 et T2.

La texture perçue sur le terrain sur l'ensemble des échantillons était sableuse (S), ou sableuse et légèrement argileuse (Sa) ou sablo-argileuse (SA)

Termitière	Distance à la termitière (m)	Texture	Couleur Munsell échantillon sec
T1	0	Sa	2.5YR3/3
	3	Sa	2.5YR4/4
	6	S	2.5YR3/4
	30 (Témoin 1)	S	2.5YR3/4
T2	0	SA	2.5YR4/6
	3	SA	2.5YR4/6
	6	Sa	2.5YR3/4
	9	Sa	2.5YR3/4
	12	S	2.5YR3/4
	25 (Témoin 2)	S	2.5YR3/4

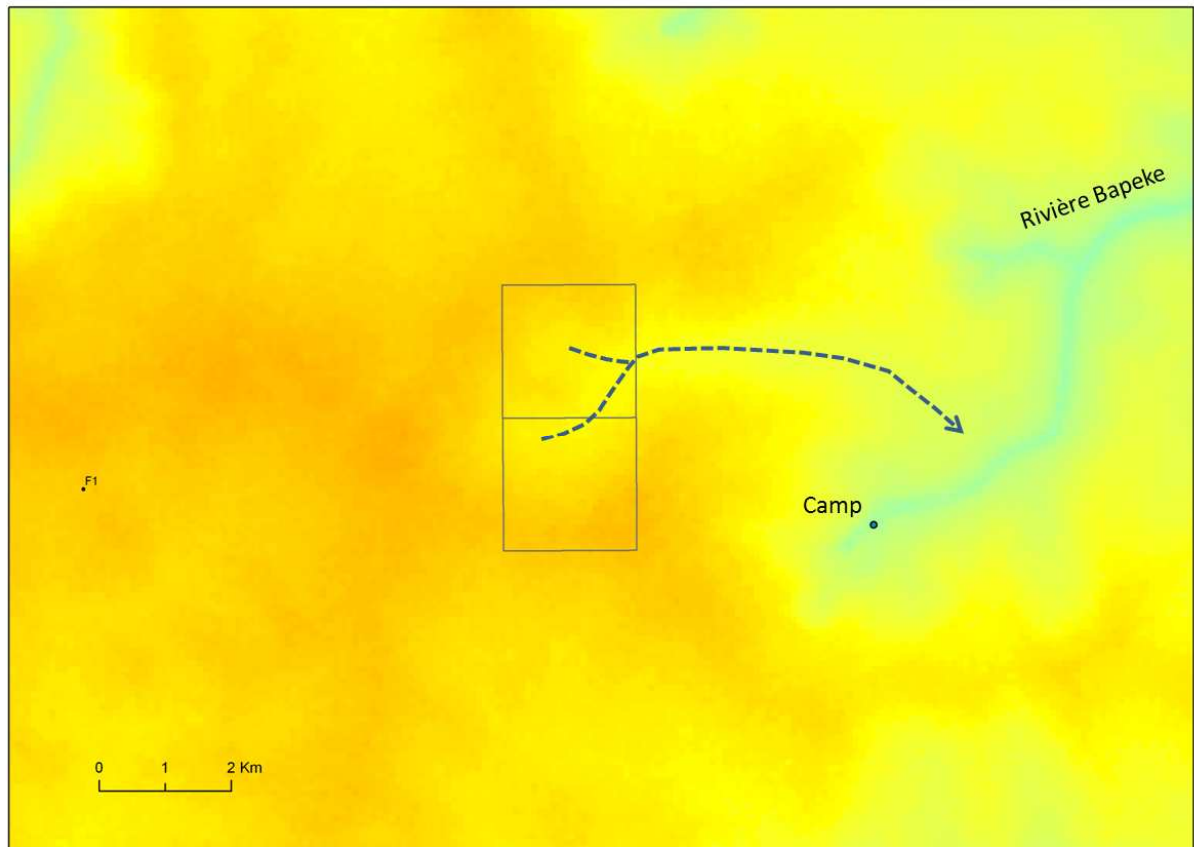


Figure 19 : Localisation du dispositif DynAffFor de Mokabi, de la fosse F1 du projet CoForChange, du camp, de la rivière Bapeke et d'une dépression sans cours d'eau (trait en pointillé) observée au sein du dispositif, qui rejoint certainement la rivière Bapeke

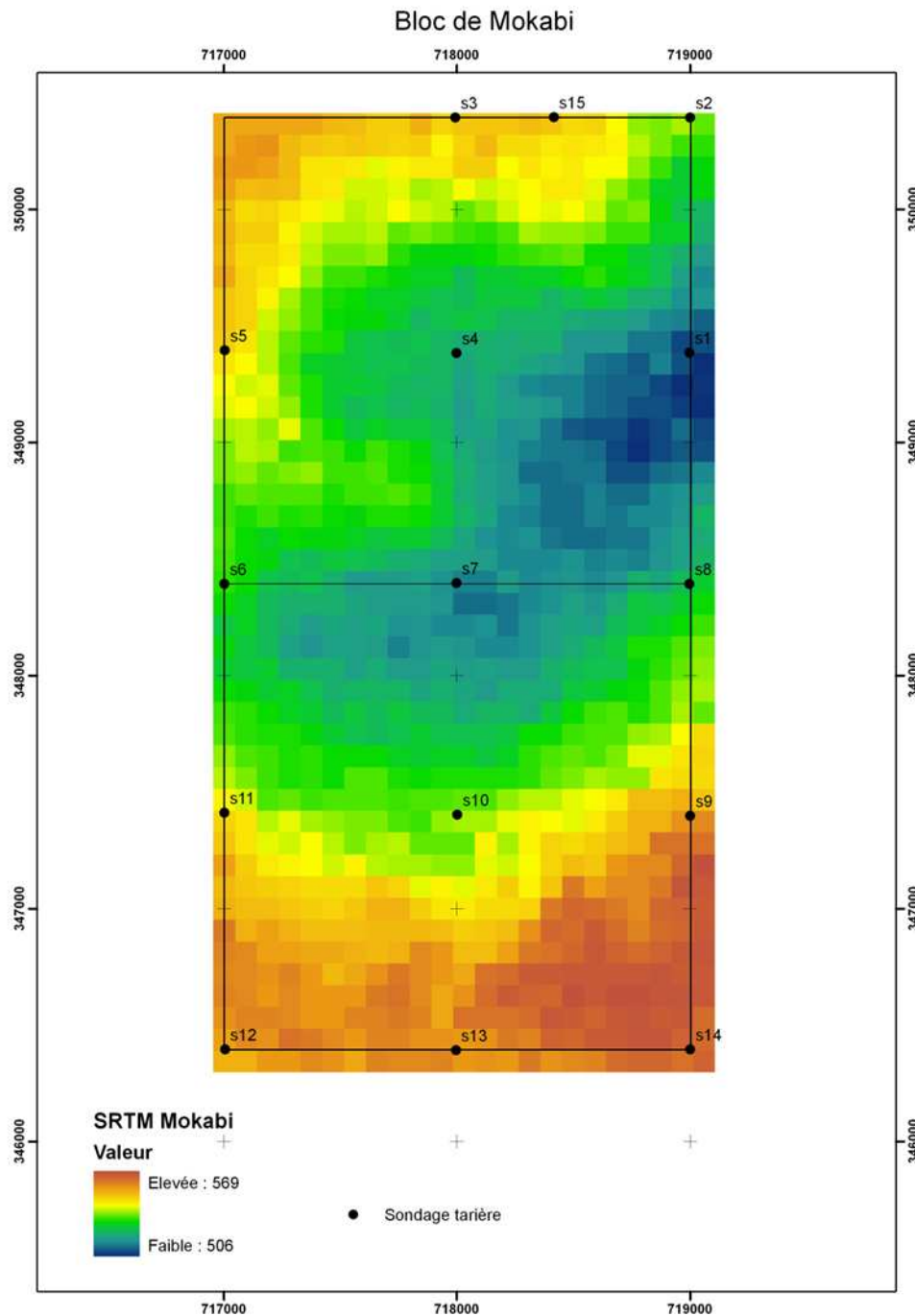


Figure 20 : Localisation des sondages tarière effectués sur le dispositif de Mokabi. Le fond correspond à une image SRTM à 90 m de résolution. La gamme des altitudes varie de 506 m (bleu) à 569 m (marron)



Termitière T1

Figure 21a : Exemples de termitières fréquemment rencontrées sur le dispositif de Mokabi



Bas de versant



Haut de versant

Figure 21b : Photos de termitières élaborées par *Macrotermes bellicosus* en zone de savane au Nigéria tirées de Abe et al. (2009)

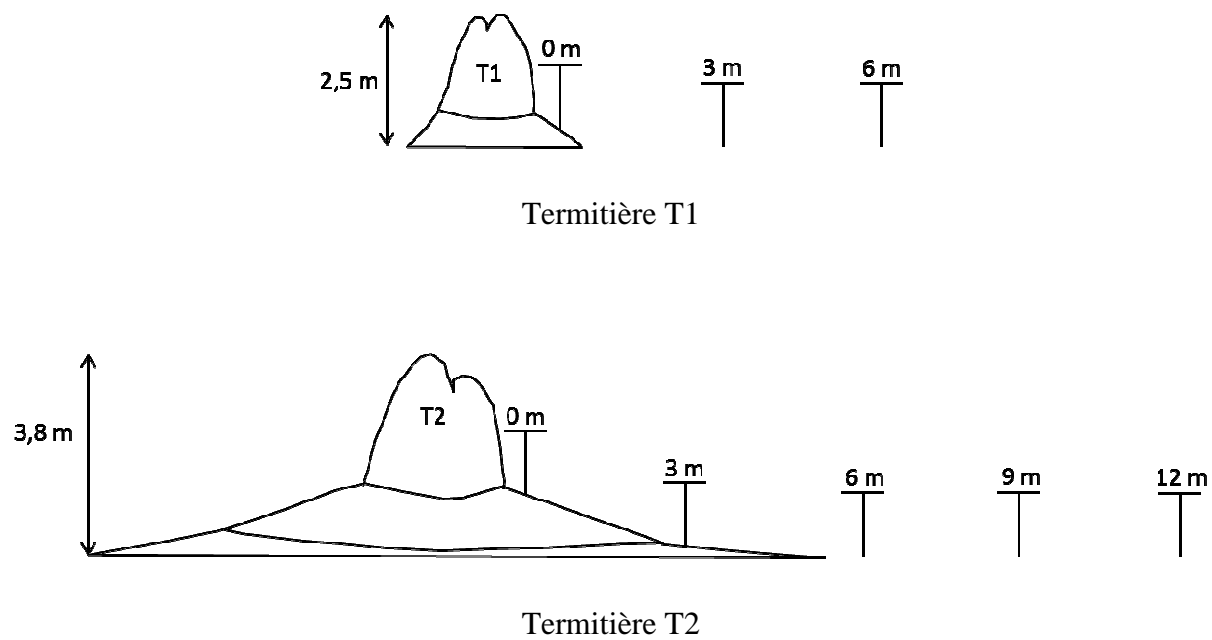


Figure 22 : Schéma du protocole termitière réalisé à Mokabi

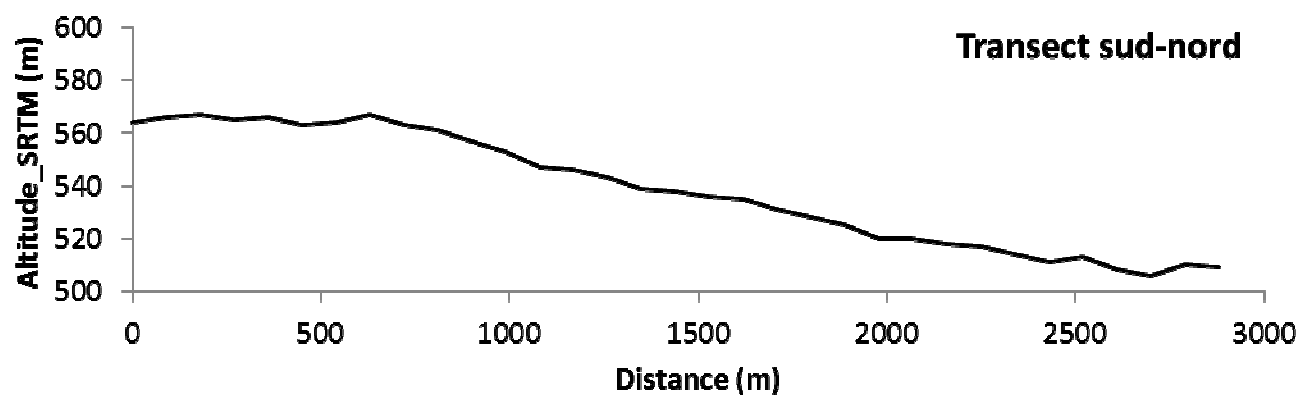


Figure 23 : Schéma d'une coupe topographique de Mokabi

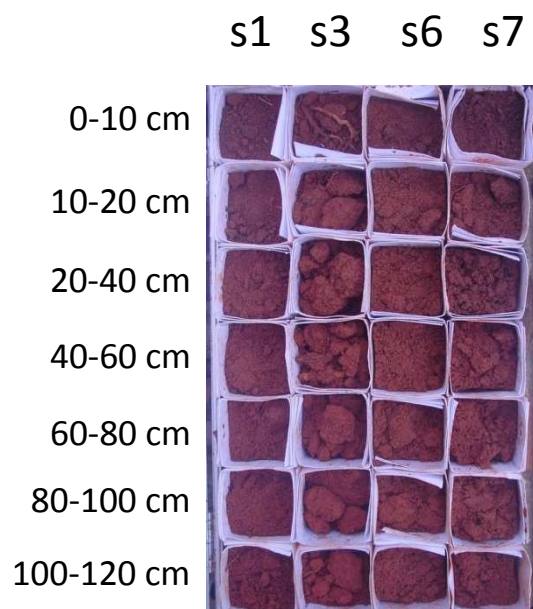


Figure 24 : Echantillon de 4 sondages tarière sur le dispositif de Mokabi . Les couleurs (Munsell soil color chart) des 15 sondages tarière sont données dans l'Annexe 2.

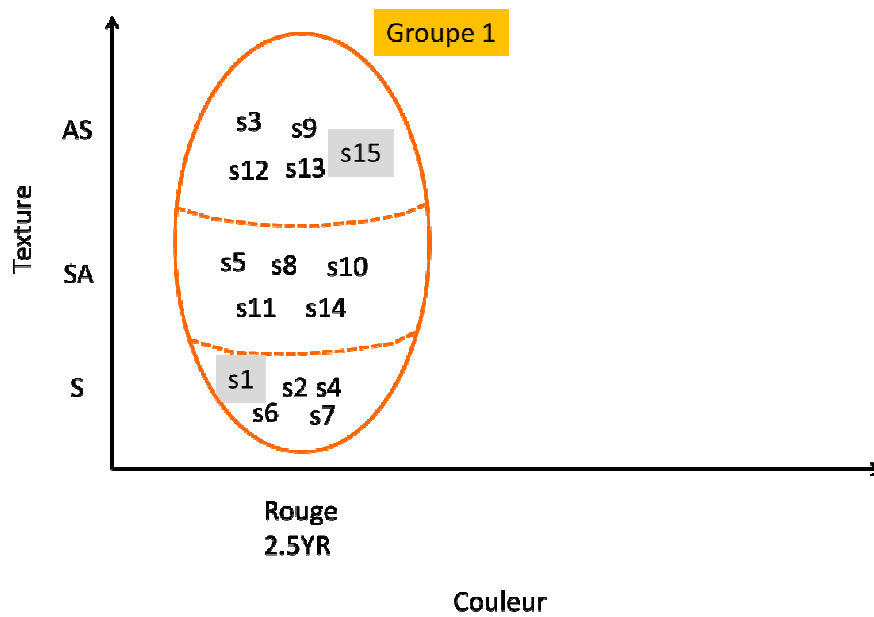


Figure 25 : Les sols de Mokabi présentés de manière synthétique suivant un gradient de texture (axe vertical). Ils sont tous de la même couleur. Le profil de référence Mokabi, a été choisi au milieu de ce gradient, à proximité du sondage s8. Des sols ont été prélevés aux deux extrêmes de ce gradient (sondages s1 et s15), afin d'estimer l'étendue de la variabilité de la granulométrie.

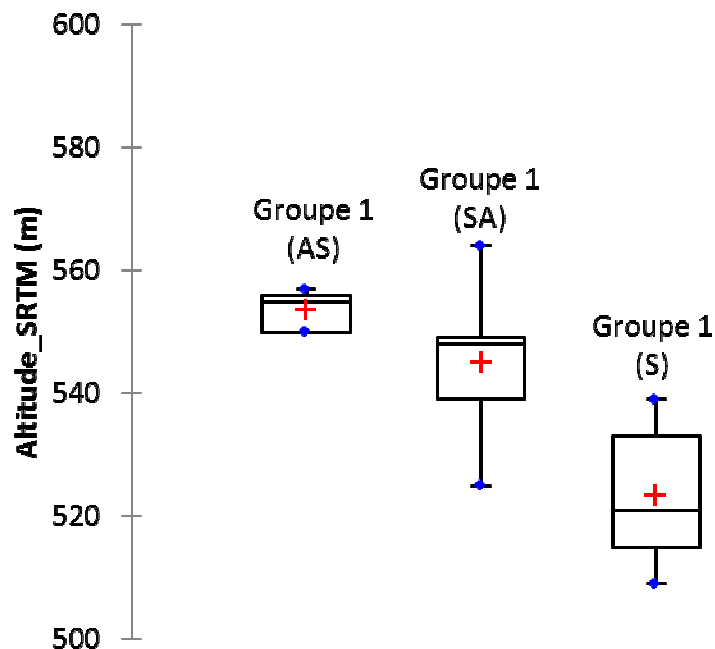


Figure 26 : Distribution des 3 sous-groupes de sol de Mokabi (Fig. 25) en fonction de l'altitude.



Figure 27 : Profil du sol de référence de Mokabi (description détaillée dans l'Annexe 5)

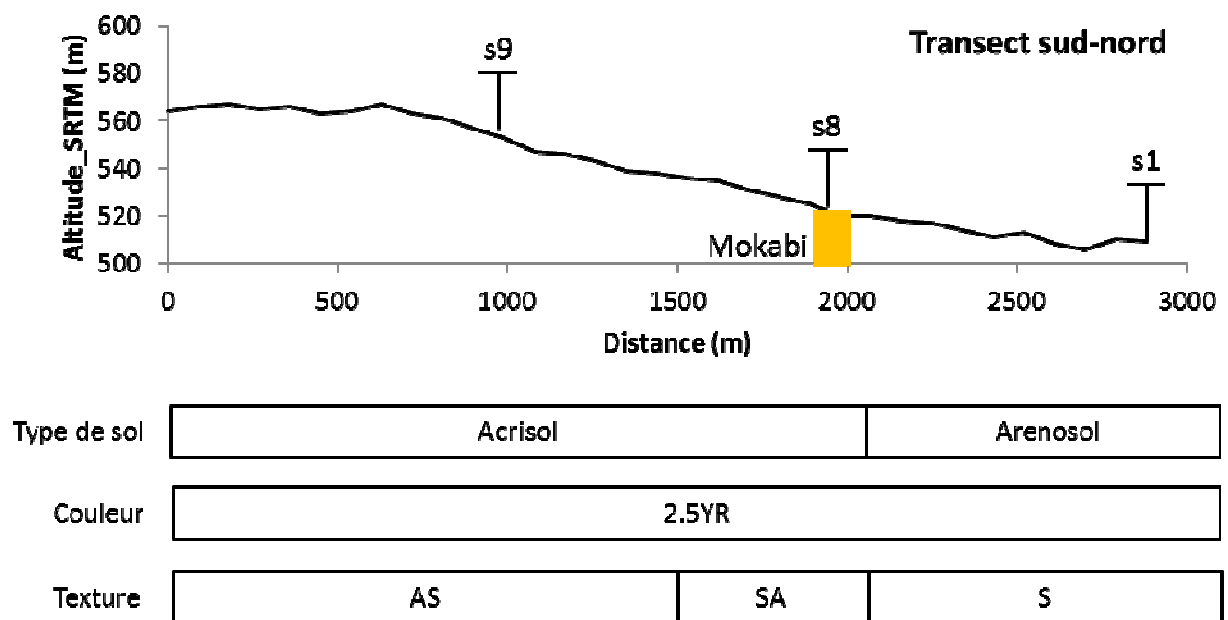


Figure 28 : Proposition d'un schéma d'organisation des sols à Mokabi

Chapitre 3 : COMPARAISON DES SOLS DE LOUNDOUNGOU ET DE MOKABI

Des sols avec des gradients de texture similaires

Les sols des dispositifs de Loundoungou et de Mokabi ont des caractéristiques communes. Sur ces deux dispositifs, nous avons observé un gradient de texture en fonction de l'altitude et de la position topographique : les sols sont de texture plus sableuse en aval qu'en amont. Cela était attendu à Loundoungou à la vue des pentes (les valeurs peuvent être élevées) et de cours d'eau ou marécages proches du dispositif. Mais il a été surprenant d'avoir observé aussi cette variation de texture à Mokabi à la vue des pentes faibles, à peine perceptibles sur le terrain, et du cours d'eau le plus proche qui est à environ 4 km. Nous suggérons qu'il existe donc aussi à Mokabi des phénomènes de redistribution de matière qui sont accentués au niveau d'axe de drainage « souterrain ». Ces phénomènes de redistribution de matière permettent aussi d'expliquer sur ces deux dispositifs la présence de certains sols qui sont caractérisés par une variation verticale de la texture, la teneur en argile augmentant dans l'horizon subsuperficiel. Ces sols ont alors été classés comme des Acrisols.

Des sols influencés par les termitières

Les sols de ces deux dispositifs sont influencés par la présence de termitières. Même si les termitières ne sont pas identiques par leur taille, espèce, et activité, il semble que l'influence des termitières sur les sols de Loundoungou et Mokabi soit la même : la teneur en argile du sol de surface est plus élevée par rapport à celle des sols voisins non influencés par les termitières.

Des sols avec une gamme de variabilité différente

Les sols de Loundoungou et de Mokabi se distinguent par leur gamme de variabilité : les sols de Loundoungou ont une gamme plus grande que ceux de Mokabi. En effet, nous avons distingué 3 types de sols (Acrisols, Arenosols, Gleysols) à Loundoungou et seulement 2 types de sol (Acrisol, Arenosol) à Mokabi. Cette gamme de variabilité se retrouve au niveau de leur couleur : les sols de Loundoungou sont rouge-jaune (5YR), brun-jaune (10YR) ou gris (2.5Y) tandis que ceux de Mokabi sont uniquement rouge (2.5YR). Cette plus grande gamme de variabilité des sols de Loundoungou s'explique par la proximité à un cours d'eau et, en parallèle, par des valeurs plus faibles du critère « Height Above Nearest Drainage » (HAND, Renno et al. 2008, Nobre et al. 2011) : 0 à 75 m à Loundoungou vs 100 à 160 m à Mokabi. Cela conduit à la présence de Gleysols, marqués par l'hydromorphie, à proximité des cours d'eau de Loundoungou.

Des sols majoritairement argilo-sableux à Loundoungou et sableux à Mokabi

Les sols de Loundoungou, majoritairement des Xanthic Acrisols (85%), sont plus argileux que les sols de Mokabi qui sont majoritairement des Arenosols (50%), même si on trouve aussi des Rhodic Acrisols (35%). Les sols de Mokabi semblent aussi avoir un mat racinaire, qui est typique des sols sableux avec une faible fertilité chimique. Ce mat racinaire, absent à Loundoungou, favorise le recyclage direct des nutriments de la litière (Laclau et al. 2004, Vitousek & Sanford 1986). Enfin, la couleur moyenne des sols suggère que les sols rouge-jaune (5YR) de Loundoungou sont en général davantage humides que les sols rouges (2.5YR) de Mokabi.

Les différences de texture et d'humidité des sols des deux dispositifs sont cohérentes avec les différences de termitières. En effet, *Macrotermes subhyalinus* (rex), l'espèce qui aurait élaboré les termitières géantes de Loundoungou, exige une teneur en argile minimale (> 5 à 10 %) et a une certaine exigence en eau. Au contraire, *Macrotermes bellicosus*, l'espèce qui

aurait élaboré les termitières de Mokabi, peut s'implanter sur des sols sableux au pédoclimat plus sec (Leprun & Roy-Noël 1976).

Tableau 3 : Comparaison des dispositifs de Loundoungou et de Mokabi

Facteur de l'environnement	Loundoungou	Mokabi
Géologie	Alluvions de la cuvette congolaise	Grès de Carnot
Géomorphologie	Piedmont	Plateau
Altitude moyenne (min et max)	430 m (395 m à 470 m)	530 m (510 à 570 m)
HAND* ¹	0 à 75 m	100 à 160 m
Climat, classification Köppen	Am	Aw (/Am)
Précipitations annuelles* ²	1670 mm	
Termitières	Fréquentes Hauteur > 5 m Abandonnées Macrotermes subhyalinus (rex)	Fréquentes Hauteur < 5 m Actives Macrotermes bellicosus
Système-sol	Acrisol-Arenosol-Gleysol	Acrisol-Arenosol
Type de sol majoritaire	Xanthic Acrisol (85%)	Rhodic Arenosol (50%)
Autres types de sol	Arenic Acrisol (10%) Arenosol (3%) Gleysol (2%)	Rhodic Acrisol (35%) Arenic Acrisol (15%)
Mat racinaire	Absent	Présent (épaisseur : 2 cm)
Charbons de bois	Présent	Absent

*¹ Height Above Nearest Drainage (Renno et al. 2008, Nobre et al. 2011)

*² Estimées d'après une moyenne des précipitations relevées à Ouesso, Imfondo et Mbaïki entre 2000 et 2008. D'après les équipes de terrain, les précipitations à Mokabi seraient plus élevées qu'à Loundoungou.

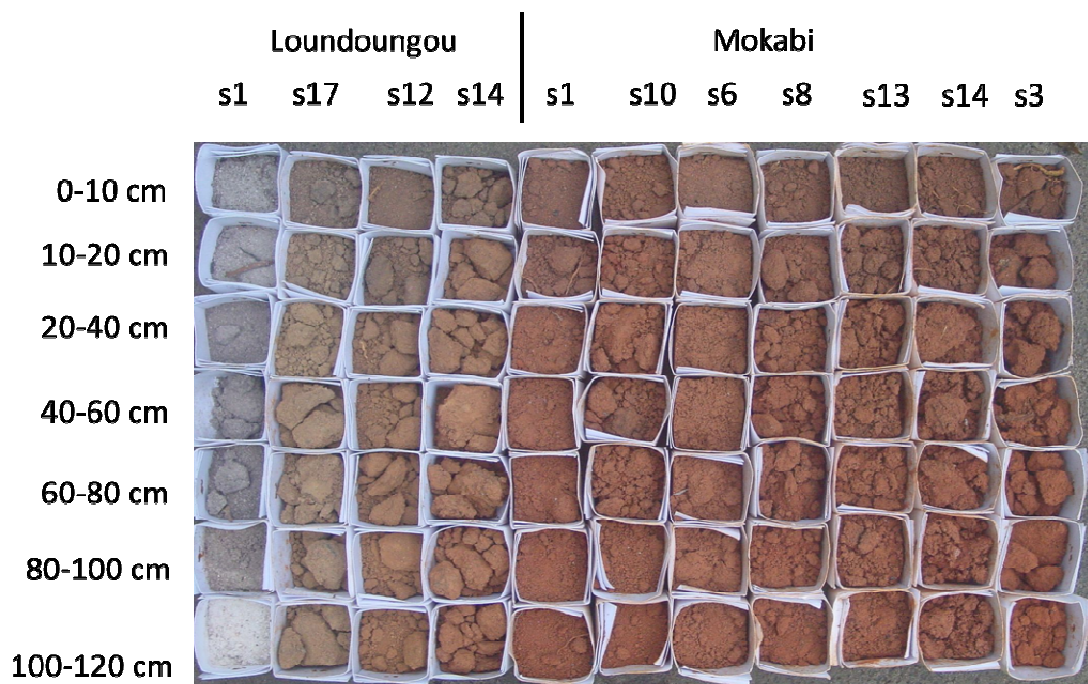


Figure 29 : Echantillons de sol représentatifs de Loundoungou et de Mokabi

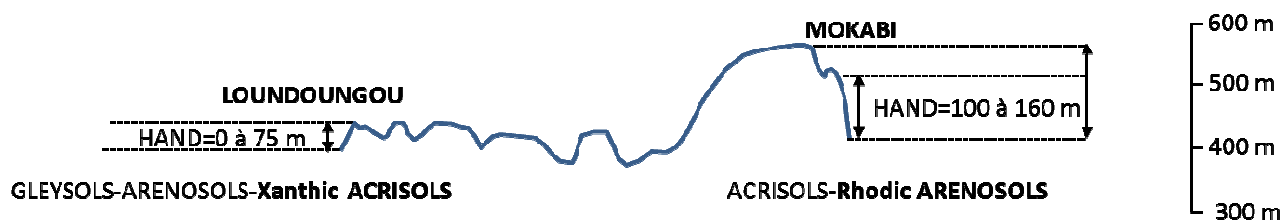


Figure 30 : Schéma récapitulatif d'organisation des sols de Loundoungou et de Mokabi.

Chapitre 4 : TERMITIERES, SOLS ET THEORIE DE LA NICHE

Les dispositifs de Loundoungou et de Mokabi sont marqués par la présence de termitières. Même si ces termitières sont différentes par leur taille, espèce et activité (Tab. 3), nous avons observé une même influence des termitières sur les sols de ces deux dispositifs : la teneur en argile du sol de surface est plus élevée par rapport à celle des sols voisins non influencés par les termitières. Si ces observations sont confirmées par les résultats d'analyses de sols et par une étude plus approfondie, elles seront similaires à la bibliographie. En effet, il est connu que, pour construire leur termitière, les termites remontent de la terre plus argileuse et plus humide qui se trouve en profondeur (Bachelier 1977). Plus généralement, par rapport à un sol témoin voisin non influencé par une termitière, les sols de termitières ont des valeurs plus élevées de pH, teneur en argile, CEC, phosphore, et de teneur en eau (Bachelier 1977, Donovan et al. 2001, Roose-Amsaleg et al. 2005, Brossard et al. 2007, Abe et al. 2009).

L'action des termites pourrait alors créer des micro-habitats dans la forêt tropicale (Donovan et al. 2001) de fertilité chimique plus riche. Ces micro-habitats peuvent aussi favoriser l'enracinement des arbres (Lu et al. 2013). La superficie de ces micro-habitats ne serait pas négligeable, puisque nous avons estimé que l'aire d'influence des termitières sur les sols de Loundoungou et de Mokabi pourrait représenter jusqu'à respectivement 15% et 8% de la surface de chaque dispositif (chap. 1 et chap. 2). Ces micro-habitats peuvent alors structurer la diversité floristique et la répartition spatiale des espèces (Beaudrot et al. 2013, Yamashina 2013).

Par la présence de termitières sur des surfaces non négligeables qui créent des micro-habitats, les dispositifs de Loundoungou et de Mokabi peuvent alors être des terrains d'étude privilégiés pour tester la théorie de la niche, une des théories qui est avancée pour expliquer la grande diversité floristique de la forêt tropicale humide. On fait l'hypothèse que (i) dans l'aire d'influence des termitières, on trouve des espèces qui sont surreprésentées, voire spécifiques par rapport aux espèces trouvées dans les zones témoins (ii) la diversité floristique locale augmente avec l'aire d'influence des termitières.

BIBLIOGRAPHIE

- Abe S S, Yamamoto S and Wakatsuki T 2009 Physicochemical and morphological properties of termite (*Macrotermes bellicosus*) mounds and surrounding pedons on a toposequence of an inland valley in the southern Guinea savanna zone of Nigeria. *Soil Science and Plant Nutrition* 55, 514-522.
- Bachelier G 1977 Mise au point sur l'action des termites dans les sols. *Science du Sol*, 3-12.
- Beaudou A G 1971 Sols rouges et beiges. Etude d'une séquence sur quartzite en pays ferrallitique forestier (R.C.A.). *Cah. ORSTOM, série Pédol.* IX, 147-187.
- Beaudrot L, Du Y J, Kassim A R, Rejmanek M and Harrison R D 2013 Do Epigeal Termite Mounds Increase the Diversity of Plant Habitats in a Tropical Rain Forest in Peninsular Malaysia? *PLoS One* 6.
- Boulvert Y 1968 Quelques aspects de l'influence de la topographie et du matériau originel sur la répartition de sols ferrallitiques, sols ferrugineux tropicaux et vertisols dans la région de Bossangoa au nord-ouest de la République Centrafricaine. *Cah. ORSTOM, série Pédol.* VI, 259-275.
- Boulvert Y 1983 Carte pédologique de la république centrafricaine à 1 : 1 000 000. ORSTOM, Paris. 126 p.
- Boulvert Y 1994 Répartition en Centrafrique et exigences écologiques des trois principales espèces de termites érigeant des édifices dits termitières géantes, cathédrales ou champignons. Historique des données bibliographiques. Observations personnelles. *Cahiers Géologiques* 125, 1501-1509.
- Boulvert Y 1996 Etude géomorphologique de la république centrafricaine. Carte à 1 / 1 000 000 en deux feuilles Ouest et Est. Notice explicative n°110. ORSTOM Editions, Paris. 258 p.
- Boyer P 1969 Les effets de l'implantation des termitières des *Bellicositermes* sur la configuration des sols des savanes de la république centrafricaine. *Bulletin du Museum National d'Histoire Naturelle* 41, 789-800.
- Brossard M, Lopez-Hernandez D, Lepage M and Leprun J C 2007 Nutrient storage in soils and nests of mound-building *Trinervitermes* termites in Central Burkina Faso: consequences for soil fertility. *Biol. Fertil. Soils* 43, 437-447.
- Chatelin Y 1969 Contribution à l'étude de la séquence sols ferrallitiques rouges et ferrugineux tropicaux beiges. Examen de profils centrafricains. *Cah. ORSTOM, série Pédol.* VII, 449-494.
- CPCS 1967 Classification des sols. 96 p.
- Do Nascimento N R, Fritsch E, Bueno G T, Bardy M, Grimaldi C and Melfi A J 2008 Podzolization as a deferralitization process: dynamics and chemistry of ground and surface waters in an Acrisol-Podzol sequence of the upper Amazon Basin. *European Journal of Soil Science* 59, 911-924.
- Donovan S E, Eggleton P, Dubbin W E, Batchelder M and Dibog L 2001 The effect of a soil-feeding termite, *Cubitermes fungifaber* (Isoptera : Termitidae) on soil properties: termites may be an important source of soil microhabitat heterogeneity in tropical forests. *Pedobiologia* 45, 1-11.
- Donovan S E, Griffiths G J K, Homathevi R and Winder L 2007 The spatial pattern of soil-dwelling termites in primary and logged forest in Sabah, Malaysia. *Ecol. Entomol.* 32, 1-10.
- Duboisset A 2003 L'importance agricole des termitières épigées dans le nord du Cameroun. L'exemple des nids de *Macrotermes subhyalinus* et d'*Odontotermes magdalenae*, Thèse, Université Paris XII, Paris. 420 p.

- Freycon V 2009 Rattachement au WRB des sols cartographiés par Boulvert (1983). CIRAD, Montpellier, 21 p.
- Fritsch E, Herbillon A J, Jeanroy E, Pillon P and Barres O 1989 Variations minéralogiques et structurales accompagnant le passage "sols rouges - sols jaunes" dans un bassin versant caractéristique de la zone de contact forêt-savane de l'Afrique occidentale (Booro Borotou, Côte d'Ivoire). *Sci. Géol. Bull.* 42, 65-89.
- Fritsch E, Herbillon A J, Do Nascimento N R, Grimaldi M and Melfi A J 2007 From Plinthic Acrisols to Plinthosols and Gleysols: iron and groundwater dynamics in the tertiary sediments of the upper Amazon basin. *European Journal of Soil Science* 58, 989-1006
- Gide A 1927 Voyage au Congo. Gallimard, Paris, 249 p.
- Gillet J-F, Gourlet-Fleury S, Gorel A, Forni E, Rossi V, Bauwens S, Dainou K, Federspiel M and Doucet J-L 2014 Rapport annuel 2013. Projet DynAfFor. Nature +/CIRAD/ Université de Liège, Gembloux, Gembloux/Montpellier. 32 p.
- Gourlet-Fleury S, Fayolle A, Freycon V and Mortier F 2010 Compte-rendu de mission en République Centrafricaine et en République du Congo. 10 février au 26 février 2010. CIRAD, Montpellier. 31 p.
- Guillot B 1981 Rendements de la cacaoculture et formations végétales. Essai d'écologie pratique des forêts de la Sangha (Congo) et du Sud-Est du Cameroun. *Cah. ORSTOM, série Sci. Hum.* XVIII, 63-106.
- IUSS Working Group WRB 2006 World reference base for soil resources 2006. FAO, Rome. 128 p.
- Laclau J P, Toutain F, M'Bou A T, Arnaud M, Joffre R and Ranger J 2004 The function of the superficial root mat in the biogeochemical cycles of nutrients in Congolese Eucalyptus plantations. *Annals of Botany* 93, 249-261.
- Lanfranchi R and Schwartz D 1990 Evolution des paysages de la Sangha (R.P. du Congo) au Pléistocène supérieur. Bilan des observations archéologiques, géomorphologiques, pédologiques et paléobiologiques. *In* Paysages quaternaires de l'Afrique centrale Atlantique, Eds R Lanfranchi and D Schwartz. pp 248-259. ORSTOM, Paris.
- Leprun J C and Roy-Noël J 1976 Minéralogie des argiles et répartition des nids épigés de deux espèces du genre *Macrotermes* au Sénégal occidental (Presqu'île du Cap-Vert). *Insectes sociaux* 23, 535-547.
- Lu M Z, Davidescu M, Sukri R S and Daskin J H 2013 Termites facilitate root foraging by trees in a Bornean tropical forest. *Journal of Tropical Ecology* 29, 563-566.
- Maley J 2001 La destruction catastrophique des forêts d'Afrique centrale survenue il y a environ 2500 ans exerce encore une influence majeure sur la répartition actuelle des formations végétales. *Syst. Geogr. Pl.* 71, 777-796.
- Meyer J A 1960 Résultats agronomiques d'un essai de nivellement des termitières réalisé dans la cuvette centrale congolaise. *Bull. Agric. Congo* 51, 1047-1059.
- Mujinya B B, Mees F, Erens H, Dumon M, Baert G, Boeckx P, Ngongo M and Van Ranst E 2013 Clay composition and properties in termite mounds of the Lubumbashi area, D.R. Congo. *Geoderma* 192, 304-315.
- Mujinya B B, Adam M, Mees F, Bogaert J, Vranken I, Erens H, Baert G, Ngongo M and Van Ranst E 2014 Spatial patterns and morphology of termite (*Macrotermes falciger*) mounds in the Upper Katanga, DR Congo. *Catena* 114, 97-106.
- Nobre A D, Cuartas L A, Hodnett M, Renno C D, Rodrigues G, Silveira A, Waterloo M and Saleska S 2011 Height Above the Nearest Drainage - a hydrologically relevant new terrain model. *Journal of Hydrology* 404, 13-29.
- Renno C D, Nobre A D, Cuartas L A, Soares J V, Hodnett M G, Tomasella J and Waterloo M J 2008 HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. *Remote Sens. Environ.* 112, 3469-3481.

- Roose-Amsaleg C, Mora P and Harry M 2005 Physical, chemical and phosphatase activities characteristics in soil-feeding termite nests and tropical rainforest soils. *Soil Biology and Biochemistry* 37, 1910-1917.
- Segalen P 1969 Contribution à la connaissance de la couleur des sols à sesquioxides de la zone intertropicale : sols jaunes et sols rouges. *Cah. ORSTOM, série Pédol.* VII, 225-236.
- Torrent J, Schwertmann U, Fechter H and Alfarez F 1983 Quantitative relationships between soil color and hematite content. *Soil Science* 136, 354-358.
- Van Wambeke A 1995 Sols des tropiques. Propriétés et appréciation. CTA, Huy Trop ASBL. 334 p.
- Verelst L 2009 Harmonized World Soil Database Viewer. FAO, CAS, IIASA, ISRIC, JRC.
- Vitousek P M and Sanford R L 1986 Nutrient cycling in moist tropical forest. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 17, 137-167.
- Yamashina C 2013 Variation in savanna vegetation on termite mounds in north-eastern Namibia. *Journal of Tropical Ecology* 29, 559-562.

**Annexe 1 – Calendrier de la mission
V. Freycon, 2 au 24 avril 2014**

Jour	Matin	Après-midi
Mercredi 2 avril	Voyage Montpellier-Paris-Brazzaville	
Jeudi 3 avril	Voyage Brazzaville-Ouessou-Pokola	
Vendredi 4 avril	CIB/Olam Pokola : préparation du terrain à Loundoungou	
Samedi 5 avril	Trajet Pokola-Loundoungou, Installation au camp	
Dimanche 6 avril	Terrain : Caractérisation des sols du dispositif de Loundoungou	
Lundi 7 avril		
Mardi 8 avril		
Mercredi 9 avril		
Jeudi 10 avril		
Vendredi 11 avril	Trajet Loundoungou-Mokabi	
Samedi 12 avril	Installation au camp	
Dimanche 13 avril	Terrain : Caractérisation des sols du dispositif de Mokabi	
Lundi 14 avril		
Mardi 15 avril		
Mercredi 16 avril		
Jeudi 17 avril		
Vendredi 18 avril	Trajet Mokabi-Loundoungou-Pokola	
Samedi 19 avril	Voyage Pokola-Ouessou-Brazzaville	
Dimanche 20 avril	Rédaction rapport de mission	
Lundi 21 avril	Rédaction rapport de mission	
Mardi 22 avril	Rédaction rapport de mission	
Mercredi 23 avril	Rédaction rapport de mission	Voyage Brazzaville-Paris
Jeudi 24 avril	Voyage Paris-Montpellier	

**Annexe 2 – Caractéristiques des sondages tarière effectués sur les dispositifs de Loundoungou
et de Mokabi**

L'index RR correspond au Redness Rating (Torrent et al. 1983)

Dispositif	Sondage	Prof (cm)	Terrain			Index
			Texture	Couleur	Humidité	RR
Loundoungou	s1	0-10	S	2.5Y6/1	frais	0
	s1	60	S	2.5Y4/1	humide	0
	s1	110-120	S	2.5Y8/2	noyé	0
	s2	0-10	S	7.5YR4/3	frais	2
	s2	60	S(A)	7.5YR4/6	humide	4
	s2	110-120	SA	5YR4/6	frais	8
	s3	0-10	S	7.5YR4/3	frais	2
	s3	60	SA	7.5YR4/6	humide	4
	s3	110-120	S(A)	5YR5/6	frais	6
	s4	0-10	S	7.5YR4/3	frais	2
	s4	60	AS	5YR4/6	humide	8
	s4	110-120	AS	2.5YR4/8	frais	15
	s5	0-10	SA	7.5YR4/4	frais	3
	s5	60	AS	7.5YR4/6	humide	4
	s5	110-120	A(S)	5YR5/6	humide	6
	s6	0-10	SA	7.5YR4/4	frais	3
	s6	60	AS	5YR4/6	frais	8
	s6	110-120	A(S)	2.5YR4/6	frais	11
	s7	0-10	S	7.5YR4/3	frais	2
	s7	60	S(A)	5YR4/6	humide	8
	s7	110-120	SA	2.5YR4/6	humide	11
	s8	0-10	S	7.5YR4/3	frais	2
	s8	60	S(A)	5YR4/4	humide	5
	s8	110-120	S(A)	5YR4/6	frais	8
	s9	0-10	S	7.5YR4/4	frais	3
	s9	60	S(A)	5YR4/4	humide	5
	s9	110-120	S(A)	2.5YR4/6 à 5YR4/6	humide	11
	s10	0-10	S	7.5YR3/4	frais	3
	s10	60	SA	5YR4/6	humide	8
	s10	110-120	AS	2.5YR4/6	humide	11
	s11	0-10	S	7.5YR3/4	frais	3
	s11	60	AS	5YR4/6	humide	8
	s11	110-120	AS	2.5YR4/6 à 5YR4/6	humide	11
	s12	0-10	S	7.5YR4/4	frais	3
	s12	60	SA	7.5YR4/6	humide	4
	s12	110-120	SA	5YR4/6	frais	8
	s13	0-10	S	7.5YR4/4	frais	3
	s13	60	AS	5YR4/6	humide	8
	s13	110-120	AS	2.5YR4/6	frais	11

Loundougou (suite)	s14	0-10	S	7.5YR4/4	frais	3
	s14	60	AS	5YR4/6	humide	8
	s14	110-120	AS	5YR5/6	frais	6
	s15	0-10	S	7.5YR4/3	frais	2
	s15	60	SA	5YR4/6	humide	8
	s15	110-120	AS	5YR4/6	humide	8
	s16	0-10	S(A)	7.5YR4/4	frais	3
	s16	60	AS	5YR4/6	frais	8
	s16	110-120	AS	2.5YR4/6 à 5YR4/6	frais	11
	s17	0-10	S	10YR4/3	frais	0
	s17	60	S(A)	10YR4/6	frais	0
	s17	110-120	S(A)	7.5YR5/6 à 10YR5/6	humide	3
	s18	0-10	S	7.5YR4/4	frais	3
	s18	60	S(A)	7.5YR4/6	humide	4
	s18	110-120	S(A)	5YR4/6	humide	8
Loundougou Protocole termitières	T1-int	0-20	AS	5YR5/4		4
	T1-ext	0-20	SA	7.5YR4/3		2
	T2-int	0-20	AS	5YR5/4		4
	T2-ext	0-20	AS	5YR3/3		5
	T3-int	0-20	SA	5YR4/4		5
	T3-ext	0-20	S(A)	7.5YR4/4		3
	T4-int	0-20	SA	5YR4/3		4
	T4-ext	0-20	S(A)	7.5YR4/4		3
Mokabi	s1	0-10	S	2.5YR3/4	frais	10
	s1	60	S(A)	2.5YR4/6	humide	11
	s1	110-120	S(A)	2.5YR4/6	humide	11
	s2	0-10	S	2.5YR4/4	sec	8
	s2	60	SA	2.5YR4/6	humide	11
	s2	110-120	S(A)	2.5YR3/6	frais	15
	s3	0-10	S(A)	2.5YR4/4	frais	8
	s3	60	SA	2.5YR4/6	humide	11
	s3	110-120	AS	2.5YR4/6	frais	11
	s4	0-10	S	2.5YR3/3	sec	8
	s4	60	S(A)	2.5YR4/6	humide	11
	s4	110-120	S(A)	2.5YR3/6	frais	15
	s5	0-10	S	2.5YR4/3	sec	6
	s5	60	AS	2.5YR4/6	humide	11
	s5	110-120	SA	2.5YR4/6	frais	11
	s6	0-10	S	5YR4/4	frais	5
	s6	60	S	2.5YR4/4	humide	8
	s6	110-120	S	2.5YR4/6	humide	11
	s7	0-10	S	5YR4/4	sec	5
	s7	60	S(A)	2.5YR4/6	humide	11
	s7	110-120	S	2.5YR4/6	humide	11

Mokabi (suite)	s8	0-10	S(A)	2.5YR3/4	frais	10
	s8	60	AS	2.5YR4/6	humide	11
	s8	110-120	SA	2.5YR3/6	frais	15
	s9	0-10	S(A)	5YR4/4	frais	5
	s9	60	SA	2.5YR4/6	humide	11
	s9	110-120	AS	2.5YR3/6	frais	15
	s10	0-10	S(A)	2.5YR3/4	frais	10
	s10	60	SA	2.5YR4/6	humide	11
	s10	110-120	SA	2.5YR3/6	sec	15
	s11	0-10	S(A)	2.5YR4/4	frais	8
	s11	60	AS	2.5YR4/6	humide	11
	s11	110-120	SA	2.5YR4/6	humide	11
	s12	0-10	S	2.5YR3/4	frais	10
	s12	60	S(A)	2.5YR4/4	humide	8
	s12	110-120	SA	2.5YR4/6	humide	11
	s13	0-10	S	2.5YR3/4	frais	10
	s13	60	SA	2.5YR4/6	humide	11
	s13	110-120	AS	2.5YR3/6	humide	15
	s14	0-10	S(A)	2.5YR4/4	frais	8
	s14	60	SA	2.5YR4/6	humide	11
	s14	110-120	SA	2.5YR4/6	frais	11
Mokabi Protocole termitières	T1_0m	0-20	S(A)	2.5YR3/3		8
	T1_3m	0-20	S(A)	2.5YR4/4		8
	T1_6m	0-20	S	2.5YR3/4		10
	T1_30m (Témoin1)	0-20	S	2.5YR3/4		10
	T2_0m	0-20	SA	2.5YR4/6		11
	T2_3m	0-20	SA	2.5YR4/6		11
	T2_6m	0-20	S(A)	2.5YR3/4		10
	T2_9m	0-20	S(A)	2.5YR3/4		10
	T2_12m	0-20	S	2.5YR3/4		10
	T1_25m (Témoin2)	0-20	S	2.5YR3/4		10

Annexe 3 – Description du profil Loundoungou-1

Id : DynAfFor-Loundoungou-1

Ouverture de la fosse : 9 avril 2014 (Isaac, Atty, Ilair, Jean, V. Freycon)

Description de la fosse : 9 avril 2014

Auteur : V. Freycon

Dimension de la fosse : Longueur=1,50 m x largeur =1m x Prof.=1,20 m

Localisation :

République du Congo

UFA Loundoungou-Toukoulaka de la société CIB, UFP 2

Dispositif DynAfFor, bloc ouest (n°1) de 400 ha, parcelle 2 de 9 ha, parcelle n°381 de 1 ha, à proximité du sondage tarière s14

Relevé GPS,

WGS84, UTM 33N : x = 730210 m E ; y = 263290 m N

Coordonnées géographiques : Latitude = 2,38045° N ; Longitude = 17,07017° E

Végétation : Forêt tropicale humide non exploitée

Géologie : Alluvions de la cuvette congolaise

Antécédents climatiques : Pluie faible les jours précédents

Hydrologie :

Régime hydrique sec de manière saisonnière

Drainage naturel modéré

Sans excès d'eau

Géomorphologie :

Pente = 4 %

Morphologie locale : sur une pente régulière

Situation dans la forme : au tiers supérieur du versant

Termitière

Le profil se situe à environ 15 m d'une termitière géante

Profil

Le profil décrit correspond à la face de la fosse qui était orientée au nord. Nous avons complété cette description par des observations relevées sur la face qui était orientée à l'est.

Nombre d'horizons : 3

Horizon 1 [0 – 5/15 cm]

Sec. 7.5YR4/4 (brown). Absence de taches. Sablo (-limoneux), quelques sables moyens délavés. Structure polyédrique subanguleuse, 10 mm modérée juxtaposée à une structure particulière modérée. Certains agrégats sont façonnés par des termites (forme d'entonnoir au fond duquel débouche un conduit. Voir photo). Peu poreux. Racines fines (< 2 mm) très nombreuses, présence d'un mat racinaire de 5 mm d'épaisseur. Absence d'éléments grossiers. Transition ondulée sur 2 cm.

Horizon 2 [5/15 – 25 cm]

Frais. 5YR4/6 (yellowish red). Taches brunes peu nombreuses, grosses, nettes, très contrastées, dans la matrice. Sablo-argileux, sable moyen. Structure polyédrique sub-anguleuse 20 mm forte. Poreux. Racines grosses (> 5 mm) peu nombreuses. Absence d'éléments grossiers. Présence d'une galerie de 5 cm de diamètre. Transition régulière sur 5 cm.

Horizon 3 [25 – 120 cm]

Humide. 5YR4/6 (yellowish red) en haut de l'horizon à (5YR→ 2.5YR)4/6 en bas de l'horizon. Taches brunes peu nombreuses, moyennes, très nettes, très contrastées, en remplissage de fissures. Argilo-sableux, sable fin. Structure polyédrique sub-anguleuse 20 mm modérée à sous-structure microagrégée 1 mm modérée. Poreux. Racines grosses peu nombreuses. Absence d'éléments grossiers. Entre 95 et 110 cm de profondeur, observation lors de l'ouverture de la fosse, de charbons de bois (peu nombreux), de deux nids de termites et d'une galerie.

Profondeur de prélèvement des échantillons de sol :

Pour classer le profil dans le WRB (5 échantillons) :

Horizon 1 : 0-10 cm

Horizon 2 : 20 cm

Horizon 3 : 40 cm

Horizon 3 : 60 cm

Horizon 3 : 110-120 cm

Pour mesurer la densité apparente du sol, avec un cylindre de 250 cm³ (3 échantillons) :
0-5 cm, 10-15 cm, 30-35 cm

Pour mesurer la composition isotopique du carbone (12 échantillons) :
0-5 cm, 10-15 cm, 20-25 cm, ..., 110-115 cm.



Profil Loudoungou-1, face orientée au nord



Profil Loudoungou-1, face orientée est



Profil Loudoungou-1, nid de termites trouvé dans lors de l'ouverture de la fosse, à 95 cm de profondeur



Profil Loudoungou-1, agrégat de terre façonné par des termites dans l'horizon de surface 0-10 cm.
Une partie de cet agrégat est façonnée sous la forme d'un entonnoir au fond duquel se trouve un conduit de 1mm de largeur.

Annexe 4 – Description du profil Loundoungou-2

Id : DynAfFor-Loundoungou-1

Ouverture de la fosse : 10 avril 2014 (Isaac, Atty, Ilair, Jean, V. Freycon)

Description de la fosse : 10 avril 2014

Auteur : V. Freycon

Dimension de la fosse : Longueur=1,50 m x largeur =1m x Prof.=1,40 m

Localisation :

République du Congo

UFA Loundoungou-Toukoulaka de la société CIB, UFP 2

Dispositif DynAfFor, bloc ouest (n°1) de 400 ha, A proximité du point (0, 700 m) et du sondage tarière s18

Relevé GPS,

WGS84, UTM 33N : x = 729405 m E ; y = 262385 m N

Coordonnées géographiques : Latitude = 2,37233° N ; Longitude = 17,06290° E

Végétation : Forêt tropicale humide non exploitée, poche à Limbali (*Gilbertiodendron dewevrei*)

Géologie : Alluvions de la cuvette congolaise

Antécédents climatiques : Pluie faible les jours précédents

Hydrologie :

Régime hydrique sec de manière saisonnière

Drainage naturel modéré

Sans excès d'eau

Géomorphologie :

Pente = 3 %

Morphologie locale : sur une pente régulière

Situation dans la forme : au tiers inférieur du versant

Profil

Le profil décrit correspond à la face de la fosse qui était orientée au sud. Nous avons complété cette description par des observations relevées sur la face qui était orientée à l'est, dans laquelle se trouvait une poche de charbons de bois.

Nombre d'horizons : 4

Horizon 1 [0 – 15/20 cm]

Frais. 7.5YR3/3 (dark brown). Absence de taches. Sableux, sables grossiers. Structure particulière. Très poreux. Racines fines (< 2 mm) très nombreuses. Absence d'éléments grossiers. Transition ondulée sur 1 cm.

Horizon 2 [15/20 – 35/40 cm]

Humide. 7.5YR4/6 (strong brown). Taches rouge-jaune peu nombreuses, fines, très nettes, contrastées, dans la matrice. Sableux, sables moyens. Structure polyédrique sub-anguleuse 10 mm modérée, mélangée à une structure particulière. Poreux. Racines moyennes peu nombreuses. Absence d'éléments grossiers. Transition ondulée sur 5 cm.

Horizon 3 [35/40 – 70/90 cm]

Humide. 7.5YR4/6 à 5YR4/6 (yellowish red). Absence de taches. Sablo-argileux, sables moyens. Structure polyédrique sub-anguleuse 20 mm modérée, mélangée à une structure particulière. Poreux. Racines grosses (> 5 mm) très nombreuses. Absence d'éléments grossiers. Lors de

l'ouverture de la fosse, observation à 40 cm de profondeur d'un nid de termites. Transition ondulée sur 5 cm.

Horizon 4 [70/90 – 140 cm]

Humide à frais. 5YR4/6 (yellowish red). Absence de taches. Sablo-argileux, sables moyens. Structure polyédrique sub-anguleuse 20 mm faible, mélangée à une structure particulaire. Poreux. Racines moyennes peu nombreuses. Absence d'éléments grossiers. Lors de l'ouverture de la fosse, observation (1) de très nombreux charbons de bois à 70, 85, 90 et 110 cm, en lien avec la poche de charbons de bois de la face orientée à l'est ; (2) d'une reine termite à 90 cm de profondeur.

Profil de la face orientée à l'est

Grosse poche de charbons de bois comprise entre 60 et 120 cm. La forme de cette poche fait penser à une souche d'arbre qui a brûlé. Dans cette poche, le sol est de couleur 7.5YR3/2 et sableux. On retrouve dans cette poche, quelques plages de sol qui ont les caractéristiques de l'horizon 4 de la face orientée au sud : couleur 5YR4/6 (yellowish red) et sablo-argileux.

Profondeur de prélèvement des échantillons de sol :

Pour classer le profil dans le WRB (6 échantillons) :

Horizon 1 : 0-10 cm

Horizon 2 : 25 cm

Horizon 3 : 50 cm

Horizon 4 : 80 cm

Horizon 5 : 130 cm

Poche de charbons de bois, face est : 80-90 cm

Pour mesurer la densité apparente du sol, avec un cylindre de 250 cm³ (3 échantillons) :

0-5 cm, 10-15 cm, 35-40 cm,

Pour mesurer la composition isotopique du carbone (14 échantillons) :

0-5 cm, 10-15 cm, 20-25 cm, ..., 120-125 cm et 130-135 cm



Profil Loudoungou-2, face orientée sud



Profil Loudoungou-2, face orientée est (Photo : S. Gourlet-Fleury)
Poche de charbons de bois comprise entre 70 et 130 cm de profondeur



Profil Loundoungou-2 : Charbons de bois prélevés à 110 cm de profondeur

Annexe 5 – Description du profil de sol de Mokabi

Id : DynAfFor-Mokabi

Ouverture de la fosse : 15 avril 2014 (Mathurin Mazingué, Rodin, V. Freycon)

Description de la fosse : 15 avril 2014

Auteur : V. Freycon

Dimension de la fosse : Longueur=1,50 m x largeur =1m x Prof.=1,40 m

Localisation :

République du Congo

UFA Mokabi-Dzanga de la société Rougier Mokabi, UFP 5

Dispositif DynAfFor, bloc nord (n°2) de 400 ha, parcelle n°381 de 1 ha

Relevé GPS,

WGS84, UTM 33N : x = 718940 m E ; y = 348425 m N

Coordonnées géographiques : Latitude = 3,15040 ° N ; Longitude = 16,97014° E

Végétation : Forêt tropicale humide non exploitée

Géologie : Grès de Carnot

Antécédents climatiques : Pluie forte les jours précédents

Hydrologie :

Régime hydrique sec de manière saisonnière

Drainage naturel favorable

Sans excès d'eau

Géomorphologie :

Pente = 5 %

Morphologie locale : sur une pente régulière

Situation dans la forme : au tiers supérieur du « versant »

Unité géomorphologique : Plateau

Termitière

Au voisinage de la fosse se trouvait un monticule de terre arrondi (hauteur : 50 cm, diamètre : 5 m), qui ressemblait à une termitière. Le lendemain de l'ouverture de la fosse et de sa description, nous avons observé sur la face nord de la fosse, des trous et une galerie de termites qui n'existaient pas la veille.

Profil

Le profil décrit correspond à la face de la fosse qui était orientée à l'est. Nous avons complété cette description par des observations relevées sur la face qui était orientée au nord.

Le profil a été découpé en 5 horizons.

Horizon 1 [0 - 5 cm]

Sec. 5YR3/3 (dark reddish brown). Absence de taches. Sableux, sables grossiers. Structure grumeleuse 2 mm forte. Poreux. Meuble. Racines fines (< 2 mm) très nombreuses, présence d'un mat racinaire d'environ 2 cm d'épaisseur. Absence d'éléments grossiers. Traces de termitières nombreuses (terre dure consolidée). Transition régulière sur 0,5 cm.

Horizon 2 [5 – 25 cm]

Frais. 5YR4/4 (reddish brown). Absence de taches. Sablo-argileux. Structure polyédrique subanguleuse 10 mm faible juxtaposée à une structure grumeleuse 2 mm modérée. Très peu poreux.

Peu compact. Racines fines (< 2 mm) nombreuses et grosses (> 5 mm) peu nombreuses. Absence d'éléments grossiers. Transition régulière sur 1 cm.

Horizon 3 [25 – 55 cm]

Frais à humide. 5YR4/4 à 2.5YR4/4 (reddish brown). Absence de taches. Sablo-argileux. Structure polyédrique subanguleuse 20 mm modérée juxtaposée à une structure grumeleuse 1 mm faible. Poreux. Peu compact. Racines fines et moyennes peu nombreuses. Absence d'éléments grossiers. Trou de 5mm de diamètre observé le jour de la description. Trous de 2 mm de diamètre observés le lendemain de la description. Trous certainement effectués par des termites. Transition régulière sur 2 cm.

Horizon 4 [55 – 100/110 cm]

Humide. 2.5YR4/6 (red). Absence de taches. Sablo-argileux. Structure particulière modérée. Poreux. Peu compact. Racines fines et moyennes peu nombreuses. Absence d'éléments grossiers. Transition ondulée sur 1 cm.

Horizon 5 [100/110 – 140 cm]

Sec. 2.5YR4/8 (red). Absence de taches. Sablo-argileux. Structure massive forte. Très poreux. Présence de nombreux pores de 1 mm de diamètre certainement créés par des termites. Très compact. Racines fines et grosses peu nombreuses. Absence d'éléments grossiers.

Profondeur de prélèvement des échantillons de sol :

Pour classer le profil dans le WRB (5 échantillons) :

Horizon 1 : 0-5 cm

Horizon 2 : 15 cm ± 5 cm

Horizon 3 : 40 cm ± 5 cm

Horizon 4 : 80 cm ± 5 cm

Horizon 5 : 110-120 cm

Pour mesurer la densité apparente du sol, avec un cylindre de 250 cm³ (5 échantillons) :

0-5 cm, 15-20 cm, 40-45 cm, 80-85 cm et 110-115 cm

Pour mesurer la composition isotopique du carbone (14 échantillons) :

0-5 cm, 10-15 cm, 20-25 cm, ..., 120-125 cm et 130-135 cm



Profil de sol, DynAffFor-Mokabi

Face orientée à l'est avec un horizon de surface non abimé par l'ouverture de la fosse mais les couleurs sont mal restituées à cause d'une lumière insuffisante.



Profil de sol, DynAfFor-Mokabi

Face orientée au nord avec un horizon de surface abimé par l'ouverture de la fosse mais les couleurs observées sur le terrain sont un peu mieux restituées que celles de la face orientée à l'est.



Profil DynAfFor-Mokabi (face orientée à l'est) : présence d'un mat racinaire dans l'horizon de surface 0-5 cm

**Annexe 6 – Relevés GPS (WGS84, UTM 33N) et altitude (source SRTM, 90 m de résolution)
des sondages tarière réalisés lors du terrain**

Id_GPS	Site	Sondage	X (m)	Y (m)	Altitude (m)
23	Loundoungou	s1	729385	261675	396
24	Loundoungou	s2	729900	261685	442
27	Loundoungou	s3	731400	261690	431
28	Loundoungou	s4	731385	262695	448
29	Loundoungou	s5	731400	263690	455
30	Loundoungou	s6	730405	263675	461
34	Loundoungou	s7	732400	263685	457
35	Loundoungou	s8	733400	263685	428
41	Loundoungou	s9	733400	262685	419
42	Loundoungou	s10	733390	261680	454
43	Loundoungou	s11	732400	261700	441
44	Loundoungou	s12	729790	262880	445
45	Loundoungou	s13	729990	263090	450
46	Loundoungou	s14	730170	263280	464
47	Loundoungou	s15	730390	263470	462
48	Loundoungou	s16	729395	263680	452
49	Loundoungou	s17	729390	261980	417
55	Loundoungou	s18	729420	262400	435
NA	Mokabi	s1	718998	349385	509
NA	Mokabi	s2	719002	350393	539
NA	Mokabi	s3	717994	350393	550
NA	Mokabi	s5	717006	349395	549
NA	Mokabi	s6	717003	348392	533
NA	Mokabi	s7	718000	348395	515
NA	Mokabi	s4	718000	349383	521
NA	Mokabi	s8	718999	348392	525
NA	Mokabi	s9	719002	347396	557
NA	Mokabi	s10	718003	347401	539
NA	Mokabi	s11	717003	347410	548
NA	Mokabi	s12	717006	346393	555
NA	Mokabi	s13	717997	346390	556
NA	Mokabi	s14	719002	346393	564
NA	Mokabi	s15	718417	350395	550

Annexe 7 – Echantillons de sol prélevés en vue d’analyses physico-chimiques (Cirad, Montpellier, dossier 014S055) et d’analyses isotopiques (Inra Champenoux)

Prélèvements de sols au sein des profils de référence

Id labo	Dispositif	Profil	Prof. Min	Prof. Max	Commentaires
1	Loundougou	Loundougou-1	0	10	Profil de référence → WRB
2			20	20	
3			40	40	
4			60	60	
5			100	110	
6		Loundougou-2	0	10	Granulométrie, C, N
7			25	25	
8			50	50	
9			80	90	
10			130	130	
11		Loundougou-2 Face est	80	90	Poche de charbons de bois
12	Mokabi	Mokabi	0	5	Profil de référence → WRB
13			15	15	
14			40	40	
15			80	80	
16			110	120	

Prélèvements de sols à la tarière pour mesurer la granulométrie

Id labo	Dispositif	Sondage	Prof. Min	Prof. Max	Commentaires
17	Mokabi	s1	0	5	Granulométrie, C, N
18			10	20	
19			35	45	
20			75	85	
21			110	120	
22	Mokabi	s15	0	5	
23			10	20	
24			35	45	
25			75	85	
26			110	120	

Prélèvements de sol à la tarière en lien avec le protocole termitière

Id labo	Dispositif	Id termitière	Prof. Min	Prof. Max	Commentaires
27	Loundoungou	T1-int	0	20	Granulométrie, C, N
28		T1-ext	0	20	
29		T2-int	0	20	
30		T2-ext	0	20	
31		T3-int	0	20	
32		T3-ext	0	20	
33		T4-int	0	20	
34		T4-ext	0	20	
35	Mokabi	T1-0 m	0	20	
36		T1-3 m	0	20	
37		T1-6 m	0	20	
38		T1-témoin	0	20	
39		T2-0 m	0	20	
40		T2-3 m	0	20	
41		T2-6 m	0	20	
42		T2-9 m	0	20	
43		T2-12 m	0	20	
44		T2-témoin	0	20	

Prélèvements de sols avec un cylindre de 250 cm³, au sein des profils de référence, pour mesurer la densité apparente

Id labo	Dispositif	Profil	Prof. Min	Prof. Max	Commentaires
45	Loundoungou	Loundoungou-1	0	5	Mesure de la densité apparente (V=250 cm ³)
46			10	15	
47			30	35	
48		Loundoungou-2	0	5	
49			10	15	
50			35	40	
51	Mokabi	Mokabi	0	5	
52			15	20	
53			40	45	
54			80	85	
55			110	115	

Prélèvement de sols au sein des profils de référence, pour mesurer la composition isotopique du carbone (INRA Champenoux, Plateforme isotopique)

Id labo	Dispositif	Profil	Profondeur
1	Loundoungou	Loundoungou-1	0-5 cm
2			10-15 cm
3			20-25 cm
4			30-35 cm
5			40-45 cm
6			50-55 cm
7			60-65 cm
8			70-75 cm
9			80-85 cm
10			90-95 cm
11			100-105 cm
12			110-115 cm
13		Loundoungou-2	0-5 cm
14			10-15 cm
15			20-25 cm
16			30-35 cm
17			40-45 cm
18			50-55 cm
19			60-65 cm
20			70-75 cm
21			80-85 cm
22			90-95 cm
23			100-105 cm
24			110-115 cm
25			120-125 cm
26			130-135 cm
27	Mokabi	Mokabi	0-5 cm
28			10-15 cm
29			20-25 cm
30			30-35 cm
31			40-45 cm
32			50-55 cm
33			60-65 cm
34			70-75 cm
35			80-85 cm
36			90-95 cm
37			100-105 cm
38			110-115 cm
39			120-125 cm
40			130-135 cm

Annexe 8 – Echantillons de charbons de bois observés et prélevés en vue de leur datation ¹⁴C (Poznan, Pologne) et d’analyse anthracologique (J. Morin, Gembloux).

Id charbon	Dispositif	Profil/sondage	X (m)	Y (m)	Prof. (cm)	Prélevé
1	Loundoungou	s5	731400	263690	40	x
2		s17	729390	261980	80	x
3		Loundoungou-1	730210	263290	95	x
4					105	x
5		Loundoungou-2*	729405	262385	70	x
6					85	x
7					110	x
8					130	x

* Sur le profil Loundoungou-2, les charbons de bois ont été prélevés lors de l’ouverture de la fosse (Id 5 à 7), ou bien lors de la description du profil, sur la face sud de la fosse (Id 8).



Quelques échantillons de charbons de bois prélevés sur le profil Loundoungou-2 (Id7)